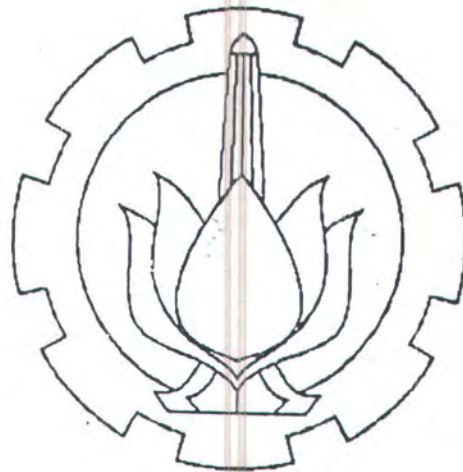


3100097009820

2053

TUGAS AKHIR  
(NA 1701)

**ANALISA KEANDALAN  
PADA STRUKTUR GELADAK TANKER  
TERHADAP TEKUK MENYELURUH  
(OVERALL BUCKLING)**

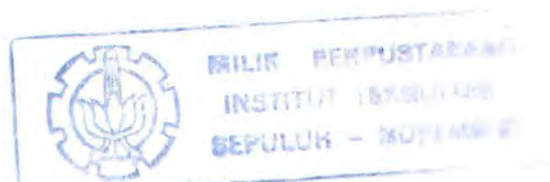


Rske  
623.824 5  
Bud  
A-1  
1997

OLEH:  
**M. AGUS BUDIMAN**  
4194.100.502

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

1997





# JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

## FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

### SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 140 /PT12.FTK2/M/1996

Nama Mahasiswa : M. Agus Budiman  
Nomor Pokok : 4194100055  
Tanggal diberikan tugas : 02 Oktober 1996  
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1997  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Asjhar Imron, MSc, MSE, PED  
2. Ir. Daniel M. Rosjied, Ph.D

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

#ANALISA KEANDALAN PADA STRUKTUR GELADAK TANKER TERHADAP TEKUK MENYELURUH-  
( OVERALL BUCKLING )#

son

Surabaya, 02 Oktober 1996

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS



Pembusan :

. Yth. Dekan FTK-ITS.  
. Yth. Dosen Pembimbing.  
. Arsip.

o e j i t n o  
NIP. 130 532 029.

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA KEANDALAN PADA STRUKTUR  
GELADAK TANKER TERHADAP TEKUK  
MENYELURUH (OVERALL BUCKLING)**

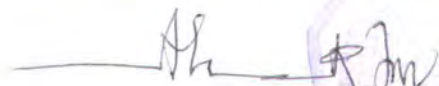
**OLEH :**

**M AGUS BUDIMAN**  
**4194.100.502**

**SURABAYA, 3 MARET 1997**

**MENGETAHUI / MENYETUJUI:**

**DOSAN PEMBIMBING I**



**Ir. ASHJAR IMRON Msc.MSE.PED.**  
**NIP.130.687.432**



**DOSAN PEMBIMBING II**



**Ir. DANIEL M. RASJIED Ph.D**  
**NIP. 131.782.038**



## ABSTRAK

Penilaian terhadap kekuatan secara probabilistik pada struktur geladak kapal dalam tugas akhir ini dilakukan dengan mempertimbangkan tekuk menyeluruh. Hal ini perlu dikaji sebagai komplemen terhadap pendekatan deterministik dan pendekatan faktor keamanan yang cenderung "Over design".

Tugas akhir ini merupakan studi kasus perancangan yang diterapkan pada kapal Tanker 17.500 DWT berlambung ganda buatan PT.PAL, Indonesia yang rancang bangunnya dilakukan oleh bangsa Indonesia. Karakterisasi keandalan terhadap struktur pada kapal dilakukan dengan metode Advanced First Order Second Moment (AFOSM) yang dikembangkan oleh Hasofer-Lind dan Simulasi Montecarlo yang dikenalkan oleh Von Newmann dan Ulam. Kedua metode tersebut dipakai untuk memperkirakan indeks keandalan (Reliability indeks) untuk memberi pijakan rasional atas tingkat keselamatan/ resiko yang ada pada kapal tanker tersebut dan juga untuk memperkenalkan bagaimana teknik keandalan dapat dengan mudah dan selainya dipakai pada sejak awal perancangan agar diperoleh hasil perancangan yang lebih bersaing. Kedua metode ini diterapkan pada konstruksi geladak utama dibawah kondisi bending momen yang diperoleh dari data PT.PAL dan ABS 1996

Hasil komputerisasi prosedur AFOSM dan simulasi Montecarlo serta bending momen dari PT PAL, Indonesia memberikan nilai indeks keandalan  $\beta$  sekitar 2. Hal ini menunjukkan bahwa kapal tanker 17.500 DWT mempunyai tingkat keselamatan yang cukup memadai, menurut rekomendasi yang diberikan A.E Mansour berkisar antara 2 sampai 4. Jadi pada tahap perancangan awal secara keseluruhan dapat dikatakan aman.

Dengan bending momen dari ABS 1996 dan PT PAL, Indonesia, prosedur AFOSM memberikan nilai indeks keandalan  $\beta$  1,25 dan Simulasi Montecarlo memberikan nilai indeks keandalan  $\beta$  sekitar 1,35. Dari hasil indeks keandalan tersebut diatas metode AFOSM lebih optimistik daripada simulasi Montecarlo pada bending momen yang lebih kecil dan terdapat kemiripan hasil kedua metode tersebut pada bending momen yang lebih besar.



## **KATA PENGANTAR**

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan meraih gelar kesarjanaan pada jurusan teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada Kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada :

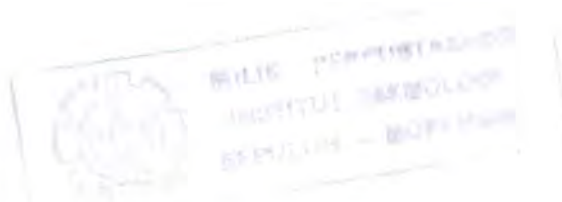
- ♦ Bapak, Ibu serta adikku yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
- ♦ Ir.Ashjar Imron Msc,MSE,PED, selaku dosen pembimbing I, yang telah banyak memberikan bimbingan dan meluangkan waktunya untuk penulisan tugas akhir ini.
- ♦ DR. Ir.Daniel M. Rosjied , selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan dan meluangkan waktunya untuk penulisan tugas akhir ini.
- ♦ Bapak-bapak Dosen di lingkungan FTK,terutama Bpk.Dr.Ir.Eko Panunggal dan Bpk Ir. Budhi Santoso atas segala masukannya.
- ♦ Staf Basic Design dan Randal Design yang telah memberikan data pendukung Tugas Akhir .

- ♦ Buat Sondakh J.S & Candra Cs (Wisper I/ 99) yang banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini serta rekan-rekan Lj'94 dan Lj '93.
- ♦ Buat Pras-Ind yang selalu memberi semangat dan semua pihak yang telah banyak membantu kelancaran Tugas Akhir ini yang tak mungkin disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari, walau telah mencurahkan segenap kemampuan yang ada, namun karya tulis ini masihlah belum sempurna, oleh karenanya saran dan kritik untuk penyempurnaan dimasa mendatang, sangatlah penulis harapkan. Akhir kata, semoga karya tulis ini dapat manfaat bagi pembaca khususnya, dan pengembangan ilmu pengetahuan pada umumnya.

Surabaya, 26 Febuari 1997

M Agus Budiman





BAB IV PROGRAM SIMULASI MONTECARLO	IV - 1
BAB V ANALISA HASIL PERHITUNGAN	V - 1
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	VI - 1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

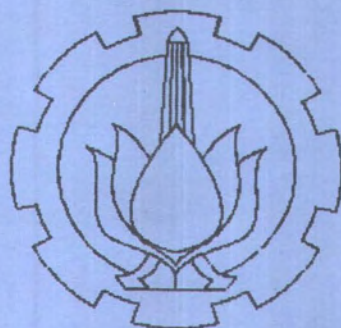
## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 : Distribusi Normal
- Gambar 2.2 : Distribusi Normal Standart
- Gambar 2.3 : Distribusi LogNormal
- Gambar 2.4 : Interferensi Dua Distribusi Peluang
- Gambar 2.5 : Fungsi Batas Linier
- Gambar 2.6 : Fungsi Batas Tak Linier
- Gambar 3.1 : Diagram Alir Program utama
- Gambar 3.2 : Diagram alir Penjabaran program utama
- Gambar 3.3 : Diagram alir Lanjutan Penjabaran program utama
- Gambar 3.4 : Diagram alir Lanjutan Penjabaran program utama
- Gambar 3.5 : Diagram Alir Metode A.F.O.S.M
- Gambar 3.6 ; Grafik Indeks Keandalan dengan metode A.F.O.S.M
- Gambar 4.1 : Diagram Alir Metode MONTECARLO
- Gambar 4.2 : Diagram Alir Metode MONTACARLO lanjutan
- Gambar 4.3 : Diagram Alir Metode MONTACARLO lanjutan
- Gambar 4.4 : Pembagian Luasan
- Gambar 4.4 : Diagram alir metode Romberg
- Gambar 4.5 : Diagram Alir Prosedur Transformasi
- Gambar 4.6 : Transformasi Fungsi Kerapatan Distribusi ke Fungsi Kumulatif
- Gambar 4.7 : Grafik Indeks Keandalan dgn Metode MONTECARLO
- Gambar 4.8 ; Grafik Perbandingan Indeks Keand. AFOSM vs MONTECARLO
- Gambar 4.9 ; Grafik Perbandingan Indeks Keand. AFOSM vs MONTECARLO
- Gambar 4.10 ; Grafik Perbandingan Indeks Keand. AFOSM vs MONTECARLO



## DAFTAR TABEL

- Tabel 3.1 : Karakterisasi Perubah dasar.
- Tabel 3.2 : Hasil Indeks Keandalan dengan metode AFOSM
- Tabel 4.1 : Hasil Indeks Keandalan dengan metode AFOSM
- Tabel 4.2 : Hasil Indeks Keand. dengan metode AFOSM & MONTECARLO
- Tabel 4.3 : Hasil Indeks Keand. dengan metode AFOSM & MONTECARLO
- Tabel 4.4 : Hasil Indeks Keand. dengan metode AFOSM & MONTECARLO



## **BAB I**

# **PENDAHULUAN**



# B A B I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG.

Penerapan analisa keandalan (*Reliability Analysis*) didalam Industri Perkapalan khususnya dibidang struktur/konstruksi secara progresif dikembangkan dikarenakan tuntutan permintaan untuk memberi pijakan rasional atas tingkat keselamatan/resiko yang ada pada kapal tersebut, dimana tujuan dari semua keputusan pada tahap perancangan dan pemeliharaan adalah untuk memperoleh suatu struktur dengan nilai ekonomi dan tingkat keandalan yang cukup. Keandalan struktur secara umum dapat dihitung dengan metode keadaan batas (*Limit State methods*), yaitu ketahanan atau kekuatan dibagi oleh suatu faktor (*Resistance factor design*) atau beban dikalikan dengan suatu faktor (*Load Resistance factor design*), sering dalam pekerjaan perancangan berdasarkan atas sejumlah besar asumsi-asumsi yang tidak diketahui sebelumnya. Metode keadaan batas keamanan ini secara tidak langsung dapat dipakai untuk semua tahap perancangan dan pemeliharaan tersebut.

Penganalisaan ketidakpastian, seperti variabel-variabel ketahanan maupun beban terhadap struktur ditafsirkan secara statistik seperti nilai rata-rata, standar deviasi, frekwensi kejadian dan sebagainya. Kemudian probabilitas kegagalan dari struktur dihitung. Probabilitas kegagalan ini dianggap sebagai ukuran yang rasional untuk keamanan struktur.

---

Metode probabilitas menawarkan suatu cara perbandingan keandalan yang lebih baik dengan memperhatikan semua mekanisme kegagalan seperti keruntuhan, kelelahan dan sebagainya. Metode probabilitas dapat menjadikan tingkat keamanan yang menyeluruh yang lebih baik dan lebih cocok untuk perancangan.

Lebih daripada itu metode keandalan menawarkan kemampuan untuk pemahaman yang lebih baik dengan melibatkan bermacam-macam variabel-variabel ketidakpastian. Metode Probabilitas dapat disetarakan dengan analisis kepekaan, dalam analisis kepekaan tingkah laku struktur dengan memperhatikan variasi variabel yang tidak diketahui, diselidiki. Analisa keandalan merupakan langkah yang lebih maju, yaitu suatu alat untuk mengetahui pengaruh variasi penting pada semua parameter yang saling berhubungan. Metode probabilitas secara prinsip telah diterima sebagai alternatif lain dari metode deterministik yang lama.

## 1.2. PERMASALAHAN.

Masalah tugas akhir ini adalah :

Bagaimana menerapkan analisa keandalan terhadap perkiraan keamanan struktur geladak kapal Tanker. Dalam hal ini yang ditinjau adalah kerusakan struktur geladak terhadap tekuk menyeluruh (Overall Buckling) akibat dari gaya tekan bidang yang timbul akibat momen bending memanjang.

Bending moment ini disebabkan oleh kombinasi distribusi gaya berat dan gaya apung dari kapal. Didalam proses perancangan kapal sampai saat ini masih



struktur geladak terhadap tekuk menyeluruh (Overall Buckling) akibat dari gaya tekan bidang yang timbul akibat momen bending memanjang.

Bending moment ini disebabkan oleh kombinasi distribusi gaya berat dan gaya apung dari kapal. Didalam proses perancangan kapal sampai saat ini masih banyak dilakukan dengan pendekatan deterministik. Dengan prosedur tersebut tingkat keselamatan struktur kapal akan cenderung konservatif, atau *over designed*. Maka untuk mengatasi masalah tersebut, diperkenalkan untuk diterapkan metode probabilistik, yaitu teori keandalan yang dapat diharapkan memberikan hasil rancangan yang lebih rasional, sehingga masalah dalam Tugas Akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

*"Bagaimana tingkat keandalan pada struktur geladak tanker terhadap tekuk menyeluruh (Overall Buckling) dengan mengambil studi kasus kapal Tanker 17.500 DWT ?"*

### 1.3 BATASAN MASALAH.

Beberapa batasan-batasan dilakukan untuk menyederhanakan dan memperjelas permasalahan sehingga memudahkan dalam penganalisaan.

Batasan-batasan tersebut antara lain :

- ♦ Kapal Tanker yang dianalisa Adalah kapal tanker minyak 17.500 LT DWT yang sedang dibangun di PT PAL INDONESIA dengan lambung ganda dan konstruksi memanjang.

- ♦ Beban geladak yang menyebabkan terjadinya tekuk menyeluruh hanya dibatasi beban Uniaxial, sedang beban yang lain dianggap kecil sekali.
- ♦ Besarnya bending moment merupakan still water bending moment dan wave bending moment didapat dari perhitungan kekuatan memanjang kapal, data didapat dari PT.PAL INDONESIA dan ABS 1996.
- ♦ Perubahan-perubah deterministik dan stokastik yang digunakan dalam perhitungan dibagi menjadi 2 bagian yaitu : *Correlated variable* dan *Uncorrelated variable* yang *independent*.
- ♦ Bending momen yang diperhitungkan pada kondisi muatan penuh (100%) dan persediaan penuh(100%).
- ♦ Data-data yang diperlukan dalam perhitungan diasumsikan sudah berupa data-data yang diolah.

#### **I.4 METODE DAN MODEL ANALISIS.**

Metodologi yang diterapkan dalam tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pengumpulan data-data dari PT PAL Indonesia, yang meliputi antara lain :
  - Perhitungan konstruksi penampang Melintang.
  - Gambar Penampang Melintang.
  - Gambar Konstruksi Memanjang.
  - Gambar Konstruksi Geladak.



- Perhitungan Momen Bending di air Tenang dan gelombang.

2. Menetapkan ambang batas keselamatan , SM (safety margin), yang akan ditinjau atau bisa juga dikatakan sebagai penetapan moda kegagalan (M).

Untuk tugas akhir ini ditinjau moda kegagalan tekuk menyeluruh (Overall Buckling).

3. Penentuan dan karakterisasi perubah-perubah dasar ( Basic Variable, i.e random variables ) yaitu sebagai berikut : bentuk distribusi fungsi kerapatan peluangnya, dan tentukan harga rata-rata dan Cov ( Coefficient of Variation ) perubah-perubah tersebut.

4. Transformasi Perubah berkorelasi ( Correlated Variable ) ke Perubah tak berkorelasi ( Uncorrelated Variable ), yaitu : menentukan  $\rho$  ( Correlation Coefficient ) dan menentukan Cov [  $X_i$  ,  $X_j$  ] ( Covarian ) kemudian ditulis dalam bentuk matriks, menghitung nilai Eigen dari matriks tersebut, dimana proses transformasi diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$\rho_{X_i} = \frac{Cov[X_i, X_j]}{\sigma_{X_i} \sigma_{X_j}}, i \neq j$$

maka matriks Covarian rumus :

$$C_X = \begin{bmatrix} Var[X_1] & COV[X_1, X_2] & \dots COV[X_1, X_n] \\ \dots & \ddots & \dots \\ COV[X_n, X_1] & COV[X_n, X_2] & \dots Var[X_n] \end{bmatrix}$$

Rumus Transformasi :  $Y = A^T \cdot X$ .

Dimana A adalah matrik Orthogonal dengan vector kolom sama dengan vector Eigen Orthonormal dari matriks  $C_X$ .

Matrik diagonal  $C_Y$  didefinisikan sebagai :

$$C_Y = A^T \cdot C_X \cdot A = \begin{bmatrix} \text{Var}[Y_1] & \dots & 0 \\ \dots & \ddots & \dots \\ 0 & \dots & \text{Var}[Y_n] \end{bmatrix}$$

Elemen-elemen diagonal dari matriks  $C_Y$  yaitu :  $\text{Var}[Y_i]$ ,  $i=1,2,\dots,n$  adalah sama dengan nilai eigen matriks  $C_X$ . maka rumus  $Y = A^T \cdot X$  menjadi :

$$\begin{bmatrix} E[Y_1] \\ \dots \\ E[Y_n] \end{bmatrix} = A^T \cdot \begin{bmatrix} E[X_1] \\ \dots \\ E[X_n] \end{bmatrix}$$

Selanjutnya perubah dasar Y ditulis dalam bentuk Vector  $Z = C_Y^{-1/2} (Y - E[Y])$ , dimana :

$E[Y] = E[Y_1], \dots, E[Y_n]$  menunjukkan transformasi perubah berkorelasi (Correlated Variable) X ke normalisasi perubah dasar dan perubah tak berkorelasi (Uncorellated Variable) sehingga rumus diatas dapat disubstitusi menjadi :

$$Z = (A^T \cdot C_X \cdot A)^{-1/2} \cdot A^T \cdot (X - E[X])$$

dimana :  $E[X] = (E[X_1], \dots, E[X_n])$ .

## 5. Analisis Keandalan dengan metode Advanced First Order Second Moment :



- Transformasikan perubah-perubah dasar menjadi perubah acak baku ( $Z_i$ ).
- Tentukan unit vector sehingga  $Z_i = ba_i$
- Tulis kembali  $M$  sebagai fungsi dari  $ba_i$
- Dengan persamaan  $M$  dalam  $ba$  dan dua persamaan berikut :

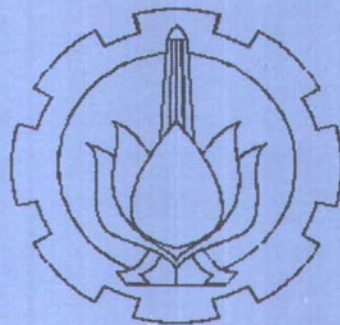
$$\alpha_i = - \frac{1}{K} \cdot \left( \frac{\delta \cdot (M)}{\delta \cdot (Z_i)} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$K = \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{\delta \cdot (M)}{\delta Z_i} \right)^2 \right]^{0.5}$$

- Inisialisasi nilai  $b a_i$  , kemudian selesaikan secara iterasi dengan bantuan program komputer.

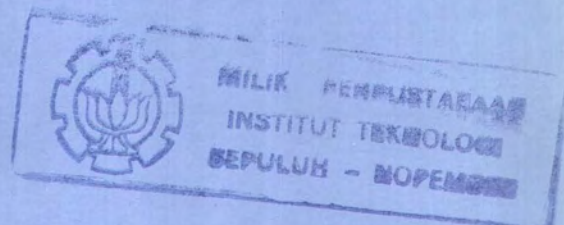
#### 6. Analisis Keandalan dengan metode Simulasi Monte Carlo :

- Ambil beberapa angka acak  $X_i$  ( sebanyak jumlah perubah dasar pada persamaan  $M$  yang ditinjau ) dari sebuah pembangkit angka acak (random number generator) dengan  $0 < x_i < 1$  .
- Transformasikan distribusi peluang  $x_i$  ( Uniform ) menjadi sesuai dengan peluangnya menurut fungsi kerapatan peluangnya.
- Masukkan pada persamaan  $M$ .
- Hitung  $M$
- Bila  $M \leq 0$  tetapkan  $NFAIL = NFAIL + 1$
- Ulangi Percobaan hingga  $NEXP$  yang diminta.
- Keandalan sistem adalah  $R = 1 - NFAIL / NEXP$



## BAB II

# ANALISA KEANDALAN STRUKTUR





## BAB II

# ANALISA KEANDALAN STRUKTUR

### II.1 PENGERTIAN KETIDAKPASTIAN.

Pada analisa teknik dan perancangan ketidakpastian dapat dilibatkan dengan memakai analisa probabilitas mengingat struktur menghadapi resiko kegagalan. Resiko ini yang diterima oleh suatu struktur akan mempengaruhi keselamatan struktur dan bentuk struktur tersebut. Analisa keandalan struktur menitik beratkan pada perlakuan dan pemilihan ketidakpastian secara rasional dan menyangkut masalah pengambilan keputusan yang rasional. Dalam hal ini semua besaran (kecuali konstanta fisik dan matematik) yang langsung dalam perhitungan teknik, dalam kenyataan sebenarnya tidak tentu, berbeda dengan konsep analisa deterministik yang hanya melakukan perhitungan dengan pendekatan faktor keamanan ( $S$ ) yang merupakan rasio dari kemampuan ( $\text{Capability} = C$ ) atau kekuatan dengan permintaan ( $\text{Demand} = D$ ) atau beban terjelek ( $\text{Worst Load}$ ) atau  $S = \frac{C}{D}$ .

Pada analisa keandalan permasalahan dianalisa dengan tiga pertimbangan yaitu : harga rata-rata, simpangan baku dan fungsi peluang dimana ketiga besaran tersebut menunjukkan adanya ketidakpastian.

Untuk menghitung ketidakpastian pada struktur dengan memakai metode analisa keandalan, perlu didefinisikan perubah dasar ( $\text{basic Variable}$ ). Perubah dasar adalah sekumpulan besaran dasar yang menghasilkan

Perubah dasar adalah sekumpulan besaran dasar yang menghasilkan tanggapan (response) statis maupun dinamis dari struktur. Macam-macam perubah dasar ini adalah : sifat mekanis material, ukuran, momen inersia, beban lingkungan dan sebagainya. Semua ini dipakai secara fundamental oleh perencana dalam perhitungan struktur, selain itu pada analisa sistem struktur maka perlu untuk mendefinisikan ketidakpastian yang diterima oleh struktur tersebut. Ketidakpastian ini bisa dibagi 3 yaitu :

1. Ketidakpastian Fisik adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan keragaman (variability) fisik seperti : beban, sifat material dan ukuran material. Keragaman fisik ini hanya bisa dinyatakan dalam contoh data dengan pertimbangan praktis dan ekonomis.
2. Ketidakpastian Statiscal, berhubungan dengan data-data yang dipakai untuk membuat model secara probabilistik dari berbagai macam keragaman fisik diatas. Data-data ini harus ditentukan jenis distribusi probabilitasnya serta harga parameter-parameternya. Parameter-parameter itu dengan sendirinya dianggap sebagai perubah acak, sedangkan ketidakpastian yang tergantung pada data itu disebut Ketidakpastian Statistik.
3. Ketidakpastian Model, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan anggapan dari jenis struktur yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk deterministik atau probabilistik. Ketidakpastian yang terjadi disini hasil dari penyederhanaan dengan memakai bermacam-macam asumsi, kondisi batas yang tidak diketahui, dan diketahuinya pengaruh perubah yang lain serta hubungan perubah-perubah yang tidak tercakup dalam model.



Adanya ketidakpastian dalam persoalan rekayasa selama ini secara tradisional telah diakomodasikan melalui konsep angka keamanan (Safety Factor) yang secara prinsip hanya memperhatikan harga rata-rata besaran-besaran design. Jelas sekali, bahwa pendekatan angka keamanan, walaupun cukup memadai, tidak memperhitungkan adanya sebaran atau variabilitas pada besaran-besaran design, sehingga persoalan diatas semakin jeas bahwa pertimbangan peluang (probabilitas) dalam kerangka rekayasa keandalan memberikan basis yang lebih rasional untuk mengakomodasi ketidakpastian ini.

## II.2 DISTRIBUSI PELUANG

Distribusi Peluang yang disajikan hanya Distribusi Peluang yang kontinu yaitu Normal dan Lognormal karena dalam Tugas Akhir ini hanya kedua distribusi ini yang dipakai.

### II.2.1 Distribusi Normal

Distribusi normal pertama kali dipelajari pada abad ke-18 ketika model kesalahan (error) pengukuran yang telah diobservasi mengikuti secara simetris, distribusi berbentuk lonceng. Hal ini pertama kali disajikan secara matematik pada tahun 1733 oleh DeMoivre, yang diperoleh sebagai sebuah bentuk batasan distribusi binomial. Distribusi tersebut juga diperkenalkan oleh Laplace pada tahun 1775. Meskipun menurut sejarah , hal ini telah diberi tanda oleh Gauss, yang dipublikasi pertama muncul pada tahun 1809, dan istilah distribusi Gauss seringkali digunakan. Berbagai usaha telah dilakukan

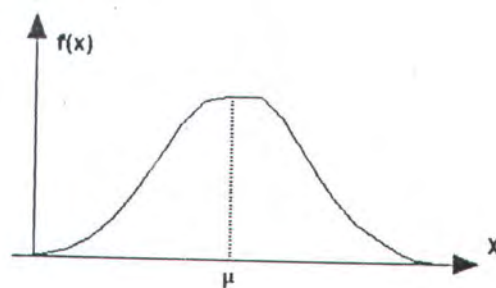
pada abad ke-18 dan 19 untuk menentukan distribusi ini sebagai dasar hukum probabilitas untuk seluruh jenis kontinyu, maka: nama normal menjadi dapat digunakan. Distribusi normal dalam beberapa hal merupakan dasar dari statistik [Hines, W & Montgomery, D.C (1972)].

Persamaan distribusi normal ditulis sebagai berikut :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\sigma(2\pi)}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad 2.1$$

Dimana  $\mu$  adalah mean dan  $\sigma^2$  adalah varian.

Distribusi ini diilustrasikan secara grafik pada gambar



Gambar 2.1 Distribusi Normal

Distribusi normal digunakan secara luas. Notasi yang disingkat adalah  $X \sim N(\mu, \sigma)$  sering digunakan untuk menunjukkan bahwa variabel random  $X$  adalah berdistribusi normal dengan rata-rata  $\mu$  dan varian  $\sigma^2$ .

1. Beberapa sifat penting distribusi normal :

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad 2.1a$$

2.  $f(x) \geq 0$  untuk seluruh  $X$ . (no. 1 & 2 dibutuhkan untuk seluruh fungsi densitas)

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0 \quad 2.1b$$



3.  $f[(x + \mu)] = f[-(x - \mu)]$ , densitas tersebut adalah simetris di sekitar  $\mu$ .

Karena ekor dari distribusi normal adalah simetris maka lebar ekor sebelah kiri sama dengan sebelah kanannya.

4. Nilai maksimum  $f$  terjadi pada  $x = \mu$
5. Titik perubahan dari  $f$  adalah pada  $x = \mu \pm \sigma$ .

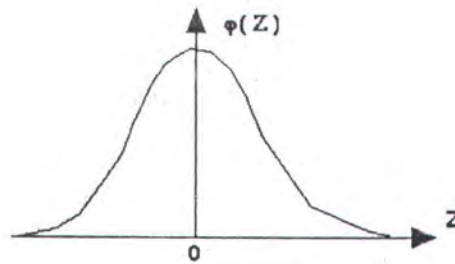
Di samping sifat-sifat di atas, sebuah alasan yang penting sehingga distribusi ini diaplikasikan secara luas adalah ketika beberapa distribusi saling interferensi tanpa mempertimbangkan bagaimana bentuk distribusinya maka hasil peluang distribusi gabungan dapat didekati dengan distribusi normal [SSC 351, 1(1990)].

Fungsi distribusi F adalah :

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}\right]} du \quad 2.2$$

Tidak mungkin untuk menghitung integral ini tanpa menggunakan metode-metode numerik, dan seringkali penilaian ini dilakukan dengan menyelesaikan masing-masing pasangan  $(\mu, \sigma^2)$ . Meskipun hanya dengan sebuah transformasi sederhana dari variabel  $z = (x - \mu) / \sigma$ , menyebabkan penilaian menjadi bebas dari  $\mu$  dan  $\sigma$ , Yaitu:

$$\begin{aligned} F(X) = P(X \leq x) &= P\left(Z \leq \frac{x - \mu}{\sigma}\right) = \int_{-\infty}^{(x-\mu)/\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz \\ &= \int_{-\infty}^{(x-\mu)/\sigma} \phi(Z) dz = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad 2.3$$



Gambar 2.2 Distribusi Normal Standart

Densitas tersebut adalah :

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right) \quad -\infty < z < \infty \quad 2.4$$

mempunyai rata-rata 0 dan varian 1, yaitu  $Z \sim N(0,1)$ .

Persamaan [2.4] merupakan fungsi distribusi normal seperti pada gambar 2.2.

Fungsi distribusi kumulatifnya adalah :

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du \quad 2.5$$

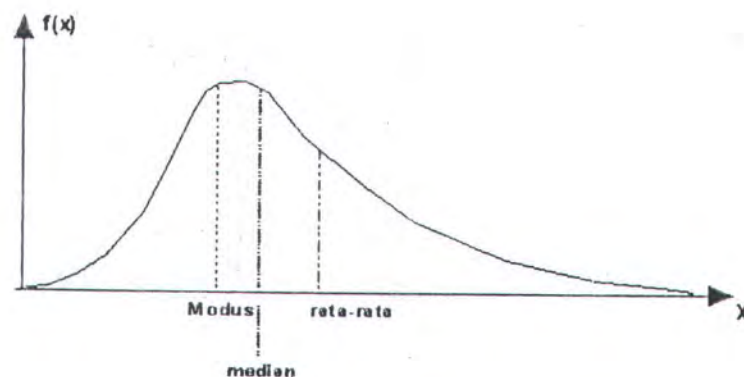
Pada referensi no.5 diberikan nilai-nilai fungsi distribusi kumulatif standar normal dengan berbagai nilai  $z$ . Distribusi normal dapat dievaluasi dari standarisasi distribusi normal dengan menghitung variabel  $z$  dan mencocokkan nilainya pada referensi no.5 untuk memperoleh nilai probabilitasnya.

### II.2.2. Distribusi Lognormal

Distribusi log-normal dalam bentuk sederhana adalah fungsi densitas sebuah variabel yang logaritmanya mengikuti hukum distribusi normal. Distribusi lognormal didasarkan pada distribusi normal. Hal ini terlihat dari kombinasi random dengan sebuah proses perkalian.



Distribusi lognormal telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang termasuk ilmu fisika, ilmu jiwa, ilmu sosial, dan rekayasa. Dalam penerapan rekayasa, distribusi lognormal telah digunakan untuk menggambarkan "laju kegagalan" atau rekayasa keandalan dan "laju perbaikan".



Gambar 2.3 Distribusi Lognormal

Distribusi ini mempunyai daerah tajam sehingga sering lebih cocok untuk data keandalan, misalnya populasi dengan karakteristik tertentu (SSC-351[1990]). Distribusi ini muncul sebagai distribusi terbatas saat sebuah random variabel dihasilkan dari beberapa random variabel yang bebas dan terdistribusi secara identik.

Kita perhatikan sebuah variabel random  $X$  dengan range  $R_X = (x(x(\infty))$ , dimana  $Y = \ln(x)$  berdistribusi normal dengan rata-rata  $\mu_Y$  dan varian  $\sigma^2$  yaitu:

Persamaan Lognormal distribusi ditulis sebagai berikut :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \mu_Y}{\sigma_Y} \right)^2 \right] & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases} \quad 2.6$$

$$\mu_x = \exp(\mu_y + \sigma_y^2 / 2)$$

$$\sigma_x = \left[ \exp(2\mu_y + 2\sigma_y^2) - \exp(2\mu_y + \sigma_y^2) \right]^{0.5} \quad 2.7 \text{ \& } 2.8$$

dimana  $\mu_y$  dan  $\sigma_y$  adalah mean dan varian dalam data ln.

Jika,  $\mu_y \gg \sigma_y$  Distribusi Lognormal akan mendekati Distribusi Normal.

### II.3. KONSEP DASAR KEANDALAN (RELIABILITY)

Secara tradisional, dalam disain suatu balok misalnya, para praktisi dan designer menggunakan nilai-nilai yang deterministik yang kaku dalam menentukan nilai bebannya maupun kekuatan baloknya. Pada kenyataannya nilai-nilai ini bukanlah suatu harga yang unik melainkan cenderung memiliki distribusi peluang tertentu yang mencerminkan ketidakpastian-ketidakpastian yang melekat pada harga-harga beban dan kekuatan dari beam. Untuk mengakomodasi ketidaktauan-ketidaktauan tersebut dipakai pendekatan angka keamanan yang biasanya menghasilkan suatu rancangan yang *Over Designed*

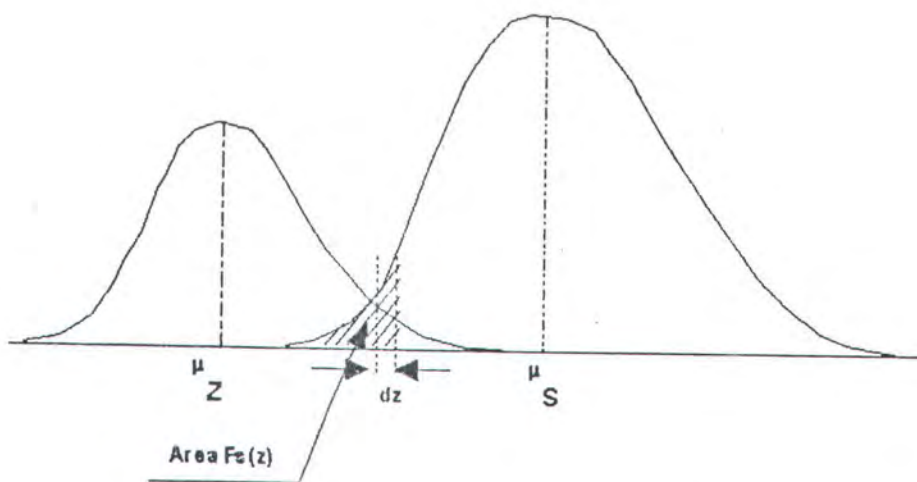
Teori keandalan struktur menitikberatkan pada penilaian ketidakpastian-ketidakpastian dan metode-metode pengkuantifikasi serta rasionalisasi dalam proses perancangan. Keandalan suatu struktur itu sendiri didefinisikan sebagai peluang struktur tersebut untuk memenuhi tujuan perancangannya dalam kondisi tertentu [Thoft-Christensen (1986)]. Untuk memperkirakan keandalan suatu struktur diperlukan perhatian setiap bentuk kegagalan yang dapat terjadi. Artinya, kita memperhatikan setiap



kemungkinan bahwa struktur tersebut tidak akan bertahan pada bentuk kegagalan, selama selang waktu yang ditentukan. Ada banyak moda kegagalan, misalnya kegagalan material, stabilitas struktur, defleksi dan lain-lain, dan kita dapat menentukan keandalan struktur secara terpisah untuk setiap moda kegagalan.

Hasil suatu perhitungan keandalan hanya memberikan suatu angka yang dapat diartikan sebagai peluang kegagalan ataupun sukses dari suatu sistem/struktur yang ditinjau. Maksudnya disini adalah bahwa untuk menentukan suatu sistem/struktur tersebut laik atau tidak berdasarkan angka keandalan sangat bersifat subjektif, tergantung dari perancangannya, konsultan, owner, Biro Klasifikasi atau pihak yang berkepentingan.

Sebuah contoh yang sederhana, pada gambar 2.4 memperlihatkan fungsi kerapatan peluang (Probability Density Function; *pdf*) untuk variabel beban ( $Z$ ) dan kekuatan ( $S$ ).



Gambar 2.4 interferensi 2 Distribusi peluang( Beban-kekuatan )

Kita tetapkan suatu fungsi sederhana  $g(s,z)$  yang disebut fungsi keadaan batas, yang menerangkan batas aman safety margin  $SM$  antara kekuatan balok dan beban yang bekerja, yaitu

$$SM = g(s,z) = S - Z.$$

$S$  dan  $Z$  adalah variabel acak dan dapat diasumsikan mempunyai distribusi peluang tertentu. Beberapa keadaan berikut menerangkan kemungkinan yang dapat terjadi pada beam tersebut:

- I.  $SM = g(s,z) < 0$ ; Keadaan dimana beam mengalami kegagalan, artinya beban  $Z$  melebihi kekuatan  $S$ .
- II.  $SM = g(s,z) > 0$ ; Keadaan aman, artinya beban  $Z$  lebih kecil dari kekuatan  $S$ .
- III.  $SM = g(s,z) = 0$ ; Keadaan dimana batas antara keadaan aman dan gagal

Peluang terjadinya kegagalan pada keadaan perta (I), dapat diterangkan secara sederhana sebagai berikut:

Perhatikan pada gambar 2.4 bahwa peluang harga beban  $Z$  akan berada pada interval  $dz$ ,  $(z-dz/2 ; z+dz/2)$  adalah  $f_z(z)dz$ . Kegagalan akan terjadi jika

kekuatan  $S$  lebih kecil dari harga  $Z$  dan peluang kejadian ini adalah  $\int_0^z f_z(z)dz$

atau hasil fungsi distribusi komulatif (*Comulative Distribution Function; cdf*) kekuatan balok pada nilai  $Z$ ,  $F_s(Z)$ . Dengan memakai persamaan 2.10 maka peluang kejadiannya adalah  $F_s(Z)f_z(z)dz$ , untuk total peluang kejadian  $P_f$  adalah :



$$P_f = \int_0^{\infty} F_s(Z) f_s(Z) dz \quad 2.9$$

#### II.4. METODE MEAN VALUE FIRST ORDER SECOND-MOMENT(MVFOSM)

Jika  $Z$  adalah sebuah random variabel yang menyatakan beban yang bekerja dan  $S$  adalah sebuah random variabel yang menyatakan kekuatan material dan safety margin  $M$  ditentukan sebagai :

$$M = S - Z \quad 2.10$$

Kegagalan akan terjadi saat beban  $Z$  yang bekerja melebihi kapasitas ultimate  $S$ , pada saat itu batas  $M$  bernilai negatif. Oleh karena itu probabilitas kegagalan  $P_f$  adalah :

$$P_f = P[M \leq 0 | F_M(0)] \quad 2.11$$

Jika beban  $Z$  dan kekuatan  $S$  merupakan variabel bebas maka harga rata-rata (mean)  $\mu_M$  dan  $\sigma_M^2$  dari safety margin  $M$  adalah

$$\begin{aligned} \mu_M &= \mu_S - \mu_Z \\ \sigma_M^2 &= \sigma_S^2 + \sigma_Z^2 \end{aligned} \quad 2.11a \text{ \& } 2.11b$$

Standarisasi  $G$ , yang mempunyai nilai mean nol dan sebuah standar deviasi, dapat ditulis sebagai

$$G = \frac{M - \mu_M}{\sigma_M} \quad 2.12$$

Kegagalan terjadi saat  $M \leq 0$  , sehingga persamaan [2.20] dapat ditulis

$$G = -\frac{\mu_M}{\sigma_M} = -\frac{\mu_S - \mu_Z}{\sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_Z^2}} \quad 2.13$$

dan persamaan 2.5.2 dapat ditulis:

$$Pf = F_M(0) = F_G\left[\frac{-\mu_m}{\sigma_m}\right] = F_G(-\beta) \quad 2.14$$

dimana  $\beta = \mu_m / \sigma_m$  = indeks keamanan (*safety index*), yang merupakan invers dari koefisien variasi dari *safety margin*.

Dari hasil sebelumnya dapat digeneralisasikan sebagai berikut:

Tentukan fungsi keadaan batas  $g(\cdot)$  misalnya :

$$M = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad 2.15$$

dimana  $x_i$  adalah variabel random. Keadaan batas yang diijinkan agar tidak terjadi kegagalan adalah

$$M = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) < 0 \quad 2.16$$

Fungsi keadaan batas ini dapat dikembangkan dengan menggunakan Taylor's Series, dan jika hanya orde pertama yang diambil kita peroleh

$$g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \approx g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_i (x_i - x_i^*) \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \right)_{x^*} \quad 2.17$$

dimana  $x_i^*$  adalah titik linierisasi (*Linearization Point*), dan turunan parsial dievaluasi di titik ini. Pada metode MVFOSM titik linierisasi ditentukan pada nilai mean  $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$

Mean dan variance dari  $M$  didekati dengan



$$\mu_m \equiv g(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$$

$$\sigma_m^2 \equiv \sum_i \sum_j \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \right)_x \left( \frac{\partial g}{\partial x_j} \right)_y \rho_{(x,y)} \sigma_x \sigma_y \quad 2.18 \text{ \& } 2.19$$

dimana  $\rho_{(x,y)}$  adalah koefisien korelasi.

Akurasi dari persamaan [2.18] dan persamaan [2.19] tergantung pada pengaruh dipenggalnya orde yang lebih tinggi pada persamaan.

Jika variabel  $x_i$  merupakan variabel bebas maka persamaan [2.19] dapat ditulis

$$\sigma_m^2 \equiv \sum_i \left( \frac{\partial g}{\partial x_i} \right)_x^2 \sigma_{x_i}^2 \quad 2.20$$

Sebagai contoh, jika batas  $M$  dinyatakan dengan dua variabel  $S$  dan  $Z$  maka

$$M = g(x_p, x_i) = g(S, Z) = S - Z \quad 2.21$$

kemudian menggunakan persamaan [2.18] dan [2.20] untuk menentukan mean dan variansinya.

Metode ini disebut Metode MVFOSM karena linierisasi fungsi batas menggunakan tempat pada nilai mean (Mean Value: MV), dan hanya orde pertama (First Orde, FO) dari Taylor's Series pada persamaan [2.17] yang diambil dan hanya sampai pada momen kedua (Second Moment: SM) dari variabel randomnya (mean dan variansi) yang dipakai untuk menghitung keandalan. tidak memakai seluruh distribusi probabilitasnya.

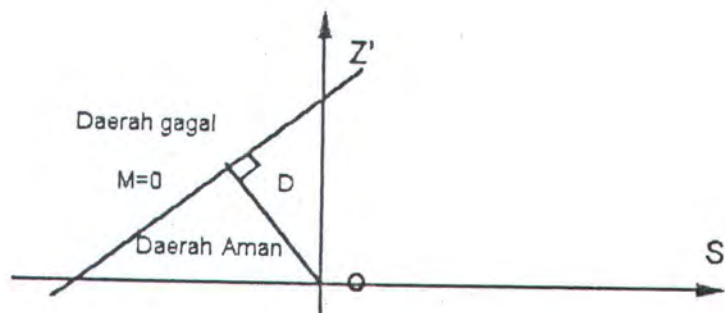
Interpretasi secara geometris adalah sebagai berikut.

Tentukan safety margin  $M = S - Z$  dimana  $S$  adalah kekuatan material dan  $Z$  beban yang bekerja.  $S$  dan  $Z$  variabel random bebas yang terdistribusi normal sehingga standarisasi dapat ditulis

$$S' = \frac{s - \mu_s}{\sigma_s} \quad ; \quad Z' = \frac{z - \mu_z}{\sigma_z}$$

$M = 0$  dapat ditulis:

$$M = \sigma_s S' - \sigma_z Z' + \mu_s - \mu_z = 0$$



Gambar 2.5 Fungsi Batas Linier

Jarak terpendek antara titik O dengan garis  $M = 0$  adalah  $D$  :

$$D = \frac{\mu_s - \mu_z}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_z^2}} \quad 2.22$$

persamaan ini sama dengan persamaan [2.13].

Jadi  $\beta = D$  untuk kasus fungsi batas yang linier. Jarak antara titik O dengan garis  $M = 0$  dapat digunakan sebagai ukuran keandalan.

Metode MVFOSM ini mempunyai tiga kekurangan [SSC-351 (1990)]:

Pertama, jika fungsi batas  $g(\cdot)$  tidak linier dan linierisasi mengambil tempat pada nilai mean dari  $x_i$ , kesalahan mulai terjadi pada pertambahan jarak dari titik linierisasi karena pengabaian orde yang lebih tinggi.

Kedua, metode ini tidak mampu menghasilkan nilai yang sama untuk pengambilan fungsi batas yang berbeda pada persoalan yang sama.



Jadi indeks keamanan  $\beta$  tergantung pada bagaimana formulasi fungsi keadaan batas.

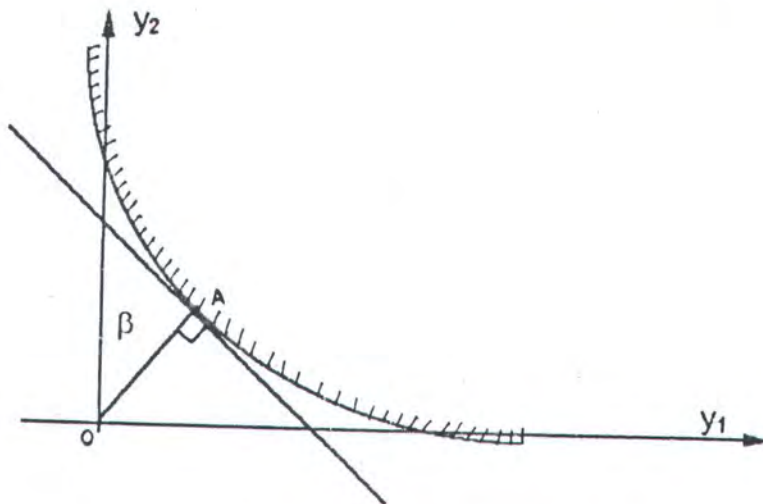
Ketiga, pada metode MVFOSM, indeks keamanan  $\beta$  dapat dihubungkan dengan probabilitas kegagalan jika variabel  $x_i$  terdistribusi normal ( dan fungsi batas  $g(\cdot)$  adalah linier dalam  $x_i$  ).

## II.5. INDEKS KEANDALAN HASOFER DAN LIND

Kekurangan pertama dan kedua metode MVFOSM dapat dihindari dengan menggunakan cara yang diberikan Hasofer dan Lind. Prosedur yang dikembangkan oleh Hasofer dan Lind yaitu variabel  $x_i$  (variabel pada fungsi batas) ditransformasikan ke distribusi normal standar :

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_{x_i}} \quad 2.23$$

Indeks keandalan Hasofer dan Lind didefinisikan sebagai jarak terpendek dari titik pusat  $O$  ke permukaan bidang gagal pada sistem koordinat variabel-variabel normal standar. Pada gambar 2.6, indeks keandalan sama dengan jarak  $OA$ . Titik  $A$  disebut design point.



Gambar 2.6 Fungsi Batas Tak Linier

Untuk memperoleh titik A dapat dilakukan dengan menyelesaikan persamaan-persamaan berikut:

$$G(y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*) = 0 \quad 2.24$$

$$y_i^* = -\alpha_i^* \beta \quad 2.25$$

$$\alpha_i^* = \frac{\left( \frac{\partial}{\partial y_i} \right)_{x^*}}{\sqrt{\sum \left( \frac{\partial G}{\partial y_i} \right)^2_{x^*}}} \quad 2.26$$

Prosedur ini yang diajukan oleh Hasofer dan Lind disebut Advanced First Order Second Moment (AFOSM) method.

Prosedur AFOSM dapat diringkas sebagai berikut:

1. Tentukan Failur Function untuk moda kegagalan yang ditinjau
2. Karakteristik perubah-perubah dasarnya,  $x_i$
3. Transformasikan setiap perubah dasar menjadi perubah dasar baku,  $y_i^*$
4. Definisikan sebuah vektor satuan  $\alpha_i^*$  dengan  $y_i^* = \beta \alpha_i^*$



5. Untuk persamaan-persamaan [2.24] sampai [2.26] : -

Tentukan  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$  percobaan dan  $\beta$  percobaan. -

Hitung  $\alpha_i$  dan  $\beta$  yang baru sampai konvergen

## II.6. SIMULASI DAN METODE MONTE CARLO

### II.6.1. Konsep Umum

Secara umum, simulasi adalah sebuah cara untuk mengadakan eksperimen di laboratorium atau pada komputer digital dengan tujuan untuk memodelkan perilaku dari suatu sistem. Biasanya model simulasi menghasilkan data simulasi yang harus dianalisa secara sistematis untuk memprediksi perilaku sistem pada waktu mendatang.

Nama Metode Monte Carlo diperkenalkan pertama kali pada tahun 1944 oleh Von Newman dan Ulam sebagai nama kode untuk proyek rahasia tentang difusi neutron di Laboratorium Los Alamos. Simulasi Monte Carlo biasanya digunakan untuk persoalan-persoalan yang menyangkut perubahan-perubahan random yang telah diketahui atau telah diasumsikan distribusi peluangnya. Dengan menggunakan teknik sampling statistik, suatu set variabel random dibangkitkan sesuai dengan distribusi peluangnya. Kemudian nilai-nilai diperlakukan sama seperti sampel hasil pengamatan eksperimen dan digunakan untuk memperoleh sebuah solusi sampel. Dengan mengulangi proses dan membangkitkan beberapa set sampel data, banyak solusi sampel dapat ditentukan, kemudian dilakukan analisa secara statistik terhadap solusi sampel.

Metode Monte Carlo mempunyai 3 langkah dasar:

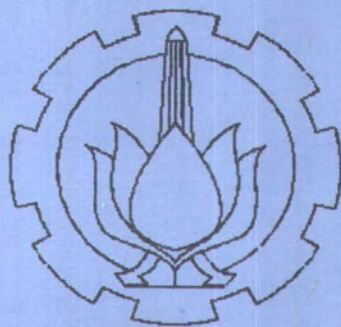
1. Pensimulasian perubah-perubah random dan Pembangkitan beberapa data sampel menggunakan teknik sampling statistik.
2. Solusi dengan menggunakan data sampel.
3. Analisa secara statistik dari hasil-hasil tersebut.

Karena hasil dari teknik ini tergantung pada banyaknya sampel yang dipakai, maka kesalahan sampling sangat bersifat subjektif dan tidak dapat ditentukan secara eksak.

#### **II.6.2. Penggunaan Metode Monte Carlo Pada Analisa keandalan struktur.**

Keandalan suatu struktur dapat diungkapkan dengan suatu fungsi keadaan batas (Limit State)  $g(x) = g(x_1, x_2, \dots, x_n)$  dimana  $x_i$  adalah perubah-perubah dasar random. Pertidaksamaan  $g(x) < 0$  menyatakan keadaan gagal dan  $g(x) > 0$  menyatakan aman. Pendekatan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo, sebuah sampel random yang berisikan nilai dari perubah dasar dibangkitkan secara numerik sesuai dengan distribusi peluangnya. Angka-angka random tersebut disubstitusikan ke dalam fungsi keadaan batas kemudian dihitung. Dilihat apakah bernilai positif atau negatif (i.e. aman atau gagal). Dengan mengulangi proses ini berulang-ulang maka kita dapat mensimulasikan distribusi peluang dari  $g(x)$ .





### **BAB III**

## **ANALISA KEANDALAN STRUKTUR GELADAK TANKER DENGAN METODE AFOSM**

**BAB III**

**ANALISA KEANDALAN STRUKTUR**

**GELADAK TANKER DENGAN METODE**

**A.F.O.S.M**

Untuk mengetahui struktur geladak yang dianalisa maka kita harus mengetahui ukuran utama dari kapal tanker 17.500 DWT yang akan ditinjau dengan spesifikasi berikut :

♦ Lenght Over All	: ± 160.00 M
♦ Lenght Between perpendiculars	: 154.00 M
♦ Breadth Moulded	: 26.80 M
♦ Depth Moulded	: 11.50 M
♦ Draft Design Moulded	: 7.00 M
♦ Coefficient Block	: 0.828

Prosedur perhitungan keandalan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

**III.1 PENETAPAN MODA KEGAGALAN/KEADAAN BATAS (LIMIT STATE)**

Menurut Huges, O. (1983), kegagalan untuk struktur baja dapat dibagi dalam tiga macam :



- a) Terbentuknya daerah plastis secara lokal dalam areal yang luas. (Large local plasticity)
- b) Ketidakstabilan (Instability) :
  - Bifurcation
  - Non bifurcation
- c) Keretakan (Fracture) :
  - Direct (Tensile rupture)
  - Fatigue
  - Brittle

Dalam tugas akhir ini moda kegagalan yang dipakai yaitu jika tegangan nominal yang terjadi pada geladak utama melewati tegangan kritis dari struktur geladak yang diasumsikan sebagai "Grillages" dan diformulasikan :

$$\sigma_{Kritis} = K \frac{\pi^2 \sqrt{D_x \cdot D_y}}{h \cdot B^2} \quad 3.1$$

$$\text{dimana : } D_x = \frac{E \cdot I_x}{(1 - \nu^2) S_y}$$

$$D_y = \frac{E \cdot I_y}{(1 - \nu^2) S_x}$$

Tegangan kritis diatas disederhanakan menjadi :

$$\sigma_{Kritis} = K \frac{\pi^2 \cdot E \left[ \frac{I_x \cdot I_y}{S_x S_y (1 - \nu^2)^2} \right]^{0.5}}{h \cdot B^2} \quad 3.2$$

Dimana : E = Modulus Elastisitas Bahan.

$$\pi = 3,14$$

K = Konstanta tergantung kondisi Batas.

IY = Momen Inersia Pelintang Geladak

IX = Momen Inersia Pembujur Geladak

Sx = Jarak antara pelintang Geladak

Sy = Jarak antara pembujur Geladak

h = Tebal pelat Geladak.

B = Lebar Panel Geladak.

$\nu$  = Angka poisson = 0,3

Untuk tekuk menyeluruh jika tegangan kritis yang terjadi melewati tegangan proposional ( $\sigma_p$ ) yang besarnya =  $0,6 \times \sigma_{Yield}$ , maka tegangan kritis tersebut harus dikoreksi sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{\sigma_{Kritis}^2}{\sigma_p (\sigma_{Yield} - \sigma_p)} \quad 3.3$$

Maka tegangan kritis dari panel Geladak akan didapatkan dari formula berikut :

$$\sigma_{Kritis} = \frac{C_1 \cdot \sigma_{Yield}}{C_1 + 1} \quad 3.4$$

Selanjutnya moda kegagalan dapat diformulasikan :

$$M \leq \sigma_{Kritis} - \sigma_{nominal} \quad 3.5$$



dimana  $M$  : Mode kegagalan

$\sigma_{Kritis}$  : Tegangan Kritis pada struktur Geladak setelah dikoreksi

$\sigma_{nominal}$  : Tegangan akibat momen bending.

Dengan mengasumsikan badan kapal sebagai balok sederhana (Simple Beam), persamaan 3.5 dapat ditulis :

$$M = \sigma_{Kritis} \cdot \frac{M_z Z}{I} \quad \text{atau dapat ditulis :}$$

$$M = \sigma_{Kritis} \cdot \frac{M_z}{W_{Gdk}} \quad 3.6$$

dimana  $\sigma_{Kritis}$  adalah tegangan Kritis dari panel geladak setelah koreksi,  $M_z$  adalah momen vertikal memanjang kapal,  $W_{Gdk}$  adalah modulus penampang geladak yang merupakan hasil bagi dari Momen inersia penampang kapal terhadap sumbu neutral terhadap jarak bagian geladak kapal yang diukur dari sumbu neutral tersebut.

### III.2 PENENTUAN DAN KARAKTERISASI PERUBAH-PERUBAH DASAR

(Basic Variable ).

Seluruh komponen perubah dasar kekuatan dan beban yang terdapat pada persamaan 3.6 dianggap sebagai perubah dasar, dan seluruhnya dari perubah dasar tersebut dimodelkan dengan fungsi distribusi peluang tertentu.

Perubah dasar dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Perubah dasar yang berkorelasi (Correlated Variable ).

Dalam hal ini adalah  $\sigma_{Kritis}$  dan  $W_{Gldk}$

b. Perubah dasar yang tidak berkorelasi ( Uncorrelated Variable ).

Adalah  $M_z$  .

### III.2.1 Tegangan Kritis ( $\sigma_{Kritis}$ )

Pada dekade sebelum ini, berdasarkan Report dari Basar tahun 1978, survey yang memberikan hasil data statistik dan distribusi mengenai tegangan Kritis material pada industri maritim, masih jarang. Sehingga sulit menemukan referensi pustaka yang memberikan data statistik dan distribusi yang memuaskan. Tetapi kebanyakan referensi menyarankan dan memakai pendekatan distribusi normal dan lognormal untuk kekuatan material.

Nilai mean dan COV (*Coefficient of Variation*) tegangan kritis untuk *tekuk menyeluruh* yang dipakai dalam perhitungan akan divariasikan berdasarkan beberapa tebal pelat geladak yang dipakai.

### III.2.2 Momen Vertikal Memanjang Kapal ( $M_z$ )

Data Bending Moment Still Water kapal Tanker 17.500 DWT diperoleh dari PT. PAL Indonesia selaku perancanganya. Perhitungan bending momen akibat gelombang yang diberikan ABS '96 adalah sebagai berikut:

$$M_{ws} = -k_1 C_1 L^2 B (C_b + 0.7) \times 10^{-3} \quad (\text{kN.m}) \quad (\text{sagging}) \quad 3.6$$



$$k_1 = 110$$

$$k_2 = 190$$

$$C_1 = 10,75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} \quad 90 \leq L \leq 300 \text{ m}$$

dimana :  $M_w$  : Wave bending momen

$L$  : Lenght

$B$  : Breadth

$C_b$  : Block Coefficient

$$\begin{aligned} M_{ws} &= -110(8,986)(154)^2(26,8)(0,829 + 0,7) \times 10^{-3} \\ &= -960.600,300 \quad (\text{kN.M}) \text{ (sagging)} \end{aligned}$$

Pada kondisi ini kapal sedang dalam perjalanan dengan kapasitas penumpang dan cargo penuh dan perbekalan 100 %. Pada kondisi ini kapal akan terpengaruh oleh beban gelombang sehingga bending momen yang terjadi adalah jumlah dari Still Water Bending Moment dan Wave Bending Moment. Distribusi peluang untuk momen bending ini diasumsikan sebagai *normal*.

### III.2.3 Modulus Penampang Geladak

Dari gambar Penampang melintang midship kapal Tanker 17.500 DWT, Moment Inertia dan jarak bagian geladak utama kapal terhadap sumbu netral, dapat dihitung seperti dalam tabel ( pada lampiran 2 ).

Faulkner (1992) memberikan nilai COV untuk Cross-section scantlings antara 2% sampai 4%. Dengan pertimbangan terjadinya akumulasi ketidak tentuan dan Mansour (1994) juga memberikan nilai COV dalam papernya sebesar 4%.

Karakterisasi dari perubah dasar ditabelkan sebagai berikut:

(Sumber : Struc.Reliability Analysis of Ships Structure)

<i>Perubah Dasar</i>	<i>Mean ( <math>\mu</math> )</i>	<i>COV</i>	<i>Tipe Distribusi</i>
$\sigma_{Kritis}$	Bervariasi	7%	Lognormal
$W_{Geladak}$	Bervariasi	4%	Normal
Mz	Bervariasi	40%	Normal

Tabel 3.1: Karakterisasi perubah dasar.

Untuk distribusi lognormal input distribusi tetap berupa nilai Mean dan dicari standart deviasi (  $\mu_x \times COV$  ). Dari input tersebut kemudian dicari nilai parameter-parameternya (ie.  $\mu_y$  dan  $\sigma_y$ ) dan median.

$$\mu_y = 2 \ln(\mu_x) - 0.5 \ln( (\sigma_x)^2 + (\mu_x)^2 )$$



$$\sigma_y = \sqrt{\ln \frac{(\sigma_x^2 + \mu_x^2)}{\mu_x^2}}$$

$$\text{Median} = \exp(\mu_y)$$

### III.3 TRANSFORMASI PERUBAH BERKORELASI KE PERUBAH TAK BERKORELASI.

Apabila perubah-perubah dasar diasumsikan berkorelasi (X) (correlated), maka berlaku rumus :

$$\rho_{X_i, X_j} = \frac{\text{COV}[X_i, X_j]}{\sigma_{X_i} \cdot \sigma_{X_j}}, \quad 3.7$$

Dimana :  $\rho_{X_i, X_j}$  = Koefisien korelasi

$\text{COV}[X_i, X_j]$  = Covarian

$\sigma_{X_i}, \sigma_{X_j}$  = Varians

Kemudian dari rumus 3.7 maka dibentuk matriks Covariant dengan rumus sebagai berikut :

$$C_X = \begin{bmatrix} \text{Var}[X_1] & \text{COV}[X_1, X_2] & \dots & \text{COV}[X_1, X_n] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{COV}[X_i, X_j] & \text{COV}[X_i, X_j] & \dots & \text{Var}[X_n] \end{bmatrix} \quad 3.8$$

$$\rho_{X_i} = \frac{\text{Cov}[X_i, X_j]}{\sigma_{X_i} \sigma_{X_j}}, i \neq j$$

maka ditulis dalam bentuk matriks yang disebut matriks Covarian dengan rumus :

$$C_X = \begin{bmatrix} \text{Var}[X_1] & \text{Cov}[X_1, X_1] \dots \dots & \text{Cov}[X_1, X_2] \\ \dots & \dots & \dots \\ \text{Cov}[X_n, X_1] & \text{Cov}[X_n, X_2] \dots \dots & \text{Var}[X_n] \end{bmatrix} \quad 3.8$$

Dari matriks Covariant tersebut dicari nilai eigen dan nilai eigen vector untuk mendapatkan matriks A, dan rumus transformasi :

$$Y = A^T \cdot X. \quad 3.9$$

Dimana A adalah matrik Orthogonal dengan vector kolom sama dengan eigen vector Orthonormal dari matriks  $C_X$  dan Y adalah perubah tak berkorelasi.

Dari matriks A dan matriks A transpose untuk membentuk matriks  $C_Y$  dengan mengalikan dengan matrik Covarian  $C_X$  dimana matriks  $C_Y$  pada diagonal utama merupakan  $\text{Var}[Y_n]$  yang merupakan nilai eigen matrik  $C_X$  karena Standart deviasi ( $\sigma_n = \sqrt{\text{Var}[Y_n]}$ ) sehingga nilai Standart deviasi ( $\sigma$ ) didapatkan, Matriks diagonal  $C_Y$  didefinisikan sebagai :

$$C_Y = A^T \cdot C_X \cdot A = \begin{bmatrix} \text{Var}[Y_1] & \dots & 0 \\ \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \text{Var}[Y_n] \end{bmatrix} \quad 3.9$$

Seperti disebutkan diatas elemen-elemen diagonal dari matriks  $C_Y$  yaitu :  $\text{Var}[Y_i]$ ,  $i=1,2,\dots,n$  adalah sama dengan nilai eigen matriks  $C_X$ . maka untuk mendapatkan nilai  $Y$  ( $E[Y_n]$ ) rumus 3.9 menjadi :



$$\begin{bmatrix} E[Y_1] \\ \dots \\ E[Y_n] \end{bmatrix} = A^T \cdot \begin{bmatrix} E[X_1] \\ \dots \\ E[X_n] \end{bmatrix} \quad 3.10$$

Selanjutnya perubah dasar Y ditulis dalam bentuk Vector

$$Z = C_Y^{-1/2} (Y - E[Y]) \quad 3.11$$

dimana :

$$E[Y] = E[Y_1], \dots, E[Y_n]$$

menunjukkan transformasi perubah berkorelasi (Correlated Variable)

X ke normalisasi perubah dasar dan perubah tak berkorelasi

(Uncorellated Variable) sehingga rumus diatas dapat disubstitusi

menjadi :

$$Z = (A^T \cdot C_X \cdot A)^{-1/2} \cdot A^T \cdot (X - E[X]) \quad 3.12$$

dimana :  $E[X] = (E[X_1], \dots, E[X_n])$ .

Sehingga untuk mendapatkan perubah tak berkorelasi maka harus mencari

matrik invers dari matriks  $A^T$  yang kemudian dikalikan dengan perubah

berkorelasi yaitu perubah dasar awal yang merupakan kebalikan dari rumus

3.10, didefinisikan sebagai :

$$\text{invers dari } A^T \cdot \begin{bmatrix} E[X_1] \\ \dots \\ E[X_n] \end{bmatrix} = a_n \cdot \begin{bmatrix} E[X_1] \\ \dots \\ E[X_n] \end{bmatrix} \quad 3.13$$

### III.4 PERHITUNGAN KEANDALAN DENGAN METODE ADVANCED FIRST ORDER SECOND MOMENT ( AFOSM ).

#### 1. Normalisasi Perubah dasar

Normalisasi perubah dasar ( $\sigma_{Kritis}$ ,  $Mz$ ,  $W_{gldk}$ ), karena sudah ditransformasi dari perubah berkorelasi ke perubah tak berkorelasi sesuai rumus 3.13 maka :

- Tegangan Kritis Panel Geladak:  $\sigma_{Kritis}$  ( $Kr$ )

$$Z_1 = \frac{Kr - \mu_{Kr}}{\sigma_{Kr}}$$

$$Kr = \mu_{Kr} + \sigma_{Kr} Z_1$$

perubah berkorelasi, menjadi perubah tak berkorelasi :

$$Z_1 = \frac{Y_1 - \mu_{Y_1}}{\sigma_{Y_1}}$$

$$Y_1 = \mu_{Y_1} + \sigma_{Y_1} \cdot Z_1$$

- Modulus Penampang Geladak  $W_{Gldk}(W)$

$$Z_2 = \frac{W - \mu_W}{\sigma_W}$$

$$W = \mu_W + \sigma_W Z_2$$

perubah berkorelasi, menjadi perubah tak berkorelasi :

$$Z_2 = \frac{Y_2 - \mu_{Y_2}}{\sigma_{Y_2}}$$

$$Y_2 = \mu_{Y_2} + \sigma_{Y_2} \cdot Z_2$$

- Momen pada penampang midship : ( $M$ )



$$Z_3 = \frac{M - \mu_M}{\sigma}$$

$$M = \mu_M + \sigma_M Z_3$$

2. Fungsi Bidang Batas (Failur Surface) pada sistem koordinat:

$$Kr - M/W = 0 \text{ atau } Kr.W - M = 0 \quad 3.14$$

Setelah ditransformasi maka didefinisikan sebagai :

$$(a_1 y_1 + a_3 y_2)(a_2 y_1 + a_4 y_2) - y_3 = 0 \quad 3.15a$$

Dimana  $a_1 \dots a_4$  nilai dari hasil matrik invers sesuai rumus 3.13.

$$a_1 a_2 y_1^2 + a_4 y_1 y_2 + a_2 a_3 y_1 y_2 + a_3 a_4 y_2^2 - y_3 = 0 \quad 3.15b$$

Substitusi semua perubah dasar yang telah dinormalisasikan ke persamaan fungsi batas :

$$F(Z_i) = a_1 a_2 (\mu_1 + \sigma_1 Z_1)^2 + ((a_1 a_4 + a_2 a_3)(\mu_1 + \sigma_1 Z_1)(\mu_2 + \sigma_2 Z_2)) + a_3 a_4 (\mu_2 + \sigma_2 Z_2)^2 - (\mu_3 + \sigma_3 Z_3)$$

atau

$$\begin{aligned} F(Z_i) = & a_1 a_2 \mu_1^2 + a_1 a_2 2 \mu_1 \sigma_1 Z_1 + a_1 a_2 \sigma_1^2 Z_1^2 + a_1 a_4 \mu_1 \mu_2 + a_1 a_4 \mu_1 \sigma_2 Z_2 + a_1 a_4 \mu_2 \sigma_1 Z_1 \\ & + a_1 a_2 \sigma_1 \sigma_2 Z_1 Z_2 + a_2 a_3 \mu_1 \mu_2 + a_2 a_3 \mu_1 \sigma_2 Z_2 + a_2 a_3 \mu_2 \sigma_1 Z_1 + a_2 a_3 \sigma_1 \sigma_2 Z_1 Z_2 + a_3 a_4 \mu_2^2 \\ & + 2 a_3 a_4 \mu_2 \sigma_2 Z_2 + a_3 a_4 \sigma_2^2 Z_2^2 - \mu_3 - \sigma_3 Z_3 = 0 \end{aligned} \quad 3.16$$

3. Menentukan unit vektor  $\alpha$  sehingga  $Z_i = \beta \alpha_i$

$$Kr = \mu_{Kr} + \sigma_{Kr} \beta \alpha_1$$

$$W = \mu_W + \sigma_W \beta \alpha_2$$

$$M = \mu_M + \sigma_M \beta \alpha_3$$

4. Fungsi batas ditulis kembali sebagai fungsi dari  $\beta\alpha_i$

$$F(\alpha\beta_i) = a_1a_2\mu_1^2 + a_1a_22\mu_1\sigma_1\beta\alpha_1 + a_1a_2\sigma_1^2\beta\alpha_1\beta\alpha_1 + a_1a_4\mu_1\mu_2 + a_1a_4\mu_1\sigma_1\beta\alpha_1 + a_1a_4\mu_2\sigma_1\beta\alpha_1 \\ + a_3a_4\mu_2^2 + 2a_3a_4\mu_2\sigma_2\beta\alpha_2 + a_3a_4\sigma_2^2\beta\alpha_2\beta\alpha_2 - \mu_3 - \sigma_3\beta\alpha_3 = 0 \quad 3.17$$

5. Menghitung Indeks Keandalan ( $\beta$ ) dengan menyelesaikan persamaan-persamaan berikut :

$$\beta = \mu_3 - a_1a_2\mu_1^2 - a_1a_4\mu_1\mu_2 - a_2a_3\mu_1\mu_2 - a_3a_4\mu_2^2 / 2a_1a_2\mu_1\sigma_1\alpha_1 + a_1a_2\sigma_1^2\alpha_1\beta\alpha_1 + a_1a_4\mu_1\sigma_1\alpha_1 \\ a_1a_4\mu_2\sigma_1\alpha_1 + a_1a_4\sigma_1\sigma_2\alpha_1\beta\alpha_2 + a_2a_3\mu_1\sigma_2\alpha_2 + a_2a_3\mu_2\sigma_1\alpha_1 + a_2a_3\sigma_1\sigma_2\alpha_1\beta\alpha_2 \\ + 2a_3a_4\mu_2\sigma_2\alpha_2 + a_3a_4\sigma_2^2\alpha_2\beta\alpha_2 - \sigma_3 \cdot \alpha_3 \quad 3.18$$

$$\text{dimana } \alpha_i = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\delta F(\beta\alpha_i)}{\delta(z_i)} \right] \quad 3.19$$

$$\alpha_1 = -\frac{1}{k} (2a_1a_2\mu_1\sigma_1 + a_1a_2\sigma_1^2\beta\alpha_1 + a_1a_4\mu_1\sigma_1 + a_1a_4\mu_2\sigma_1 + a_1a_4\sigma_1\sigma_2\beta\alpha_2 + a_2\mu_3\mu_2\sigma_1 \\ a_2a_3\sigma_1\sigma_2\beta\alpha_2) \quad 3.19a$$

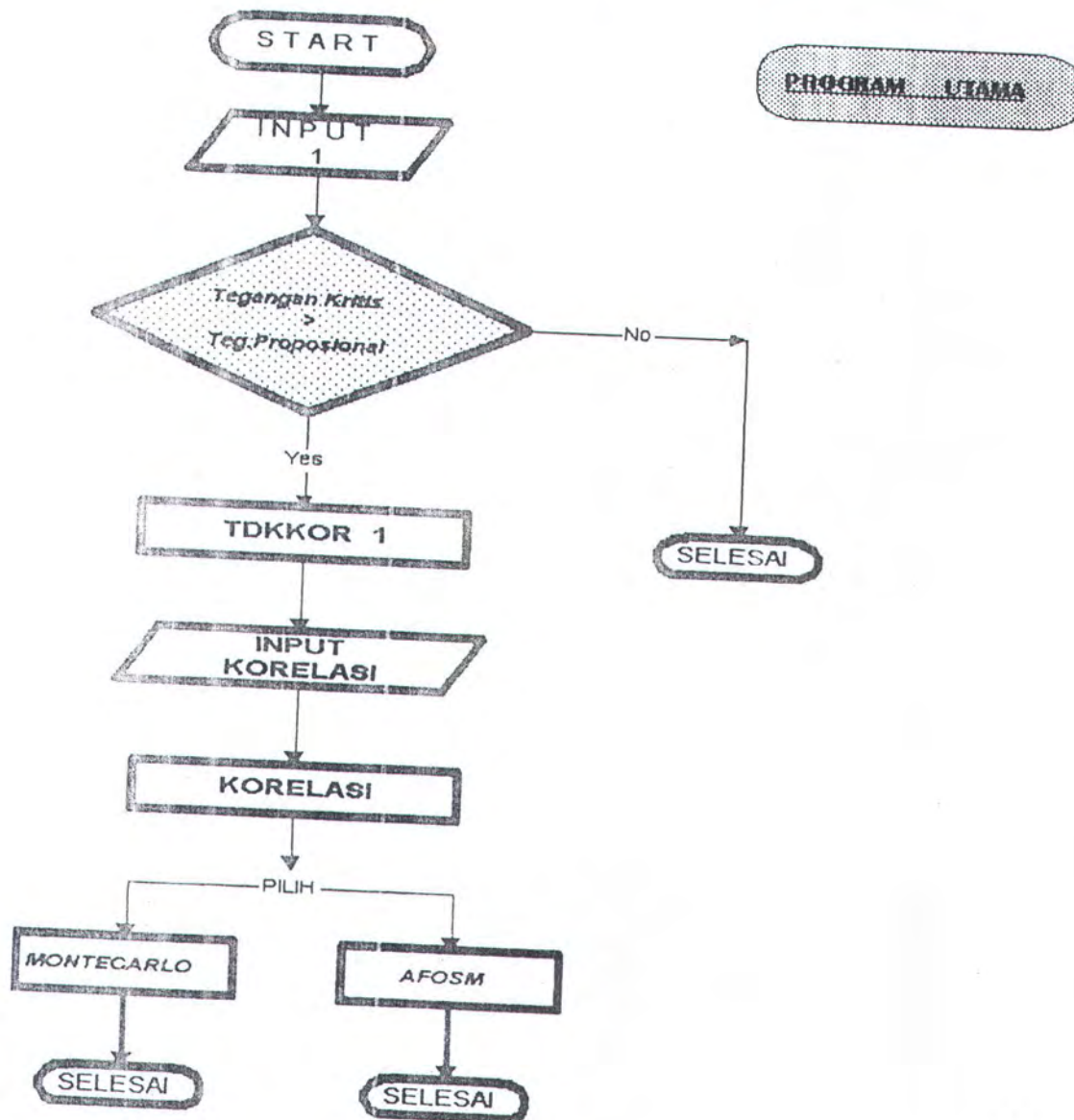
$$\alpha_2 = -\frac{1}{k} (a_1a_4\sigma_1\sigma_2\beta\alpha_1 + a_2a_3\mu_1\sigma_2 + a_2a_3\sigma_1\sigma_2\beta\alpha_1 + 2a_3a_4\mu_2\sigma_2 + a_3a_4\sigma_2^2\beta\alpha_2) \quad 3.19b$$

$$\alpha_3 = -\frac{1}{k} (-\sigma_3) \quad 3.19c$$



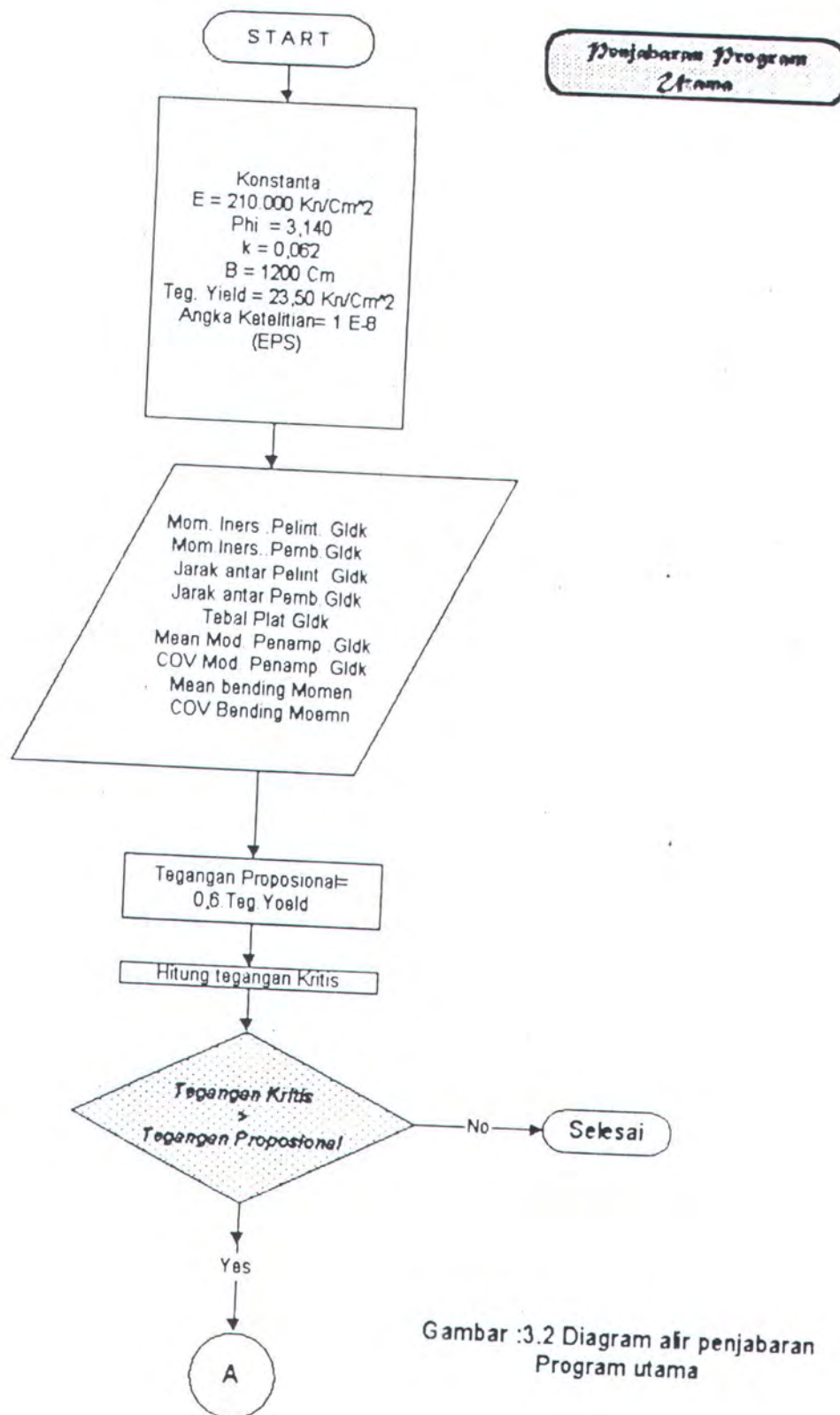
$$\text{dimana } k = \left[ \sum_{j=1}^n \left( \frac{\delta F(\beta \alpha_i)}{\delta Z_j} \right)^2 \right]^{1/2} \quad 3.20$$

Persamaan (III.7), (III.8), (III.9) di atas diselesaikan secara iterasi dengan memasukkan harga-harga awal untuk  $\beta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , dan  $\alpha_3$ , Hasilnya dicari dengan bantuan program komputer dan diplotkan pada grafik, untuk lebih jelas maka dibuat diagram alir sebagai berikut :

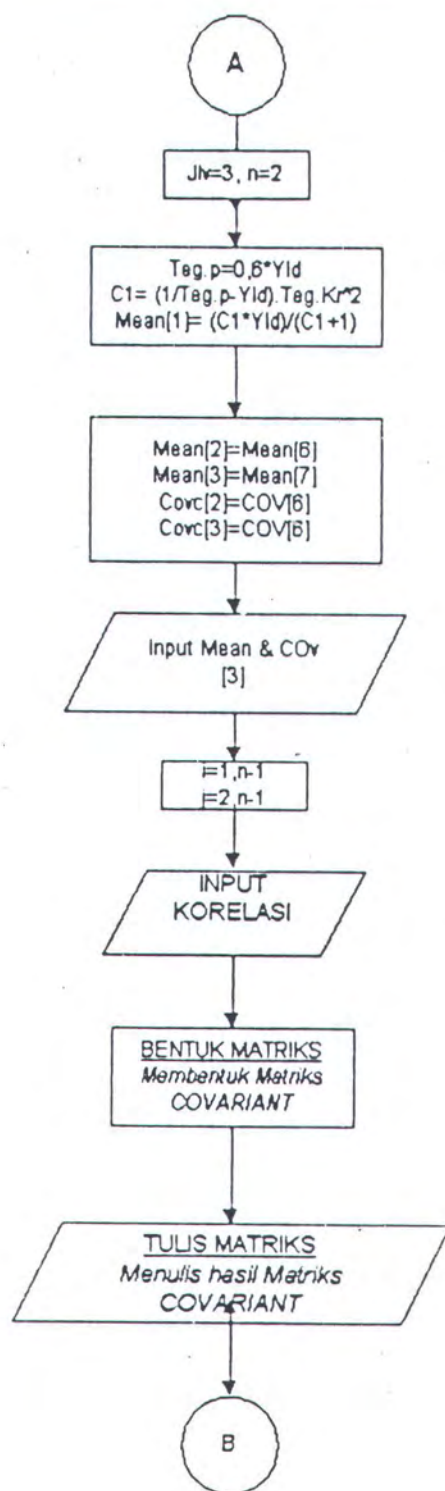


Gambar 1: Diagram alir Program Utama



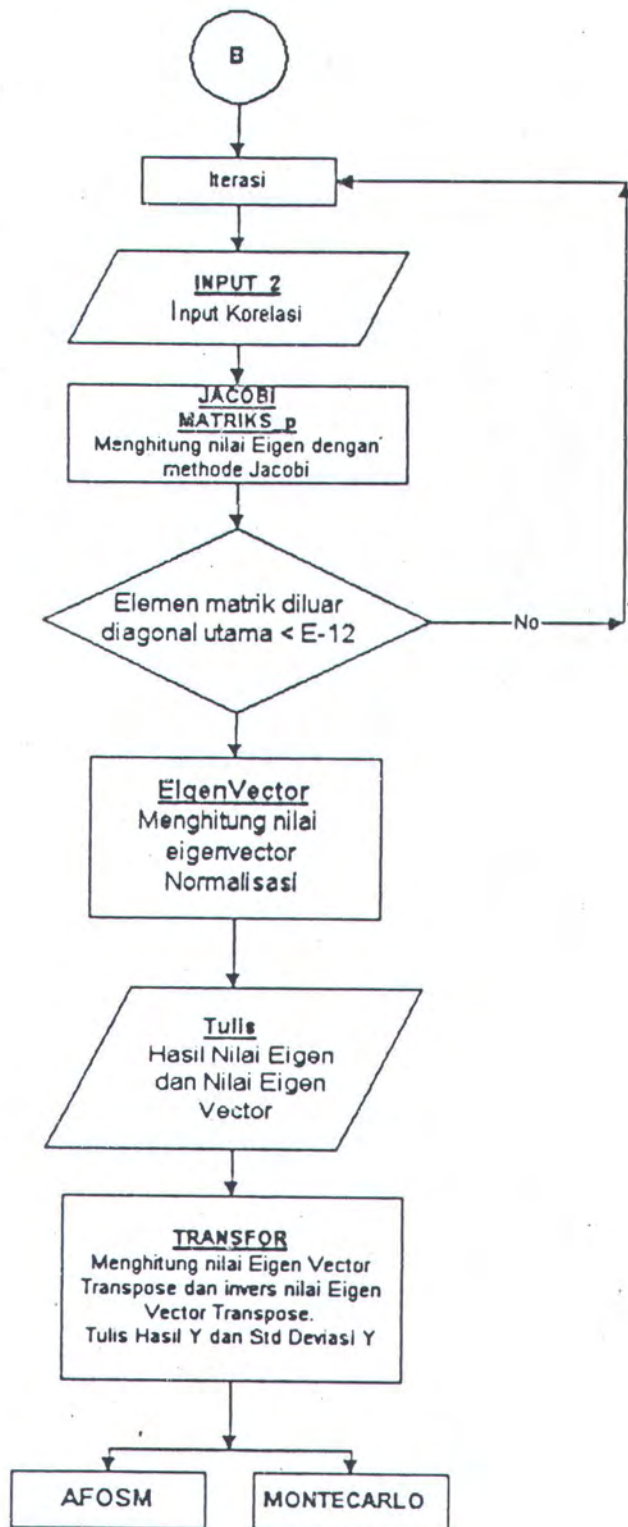


Gambar :3.2 Diagram alir penjabaran Program utama

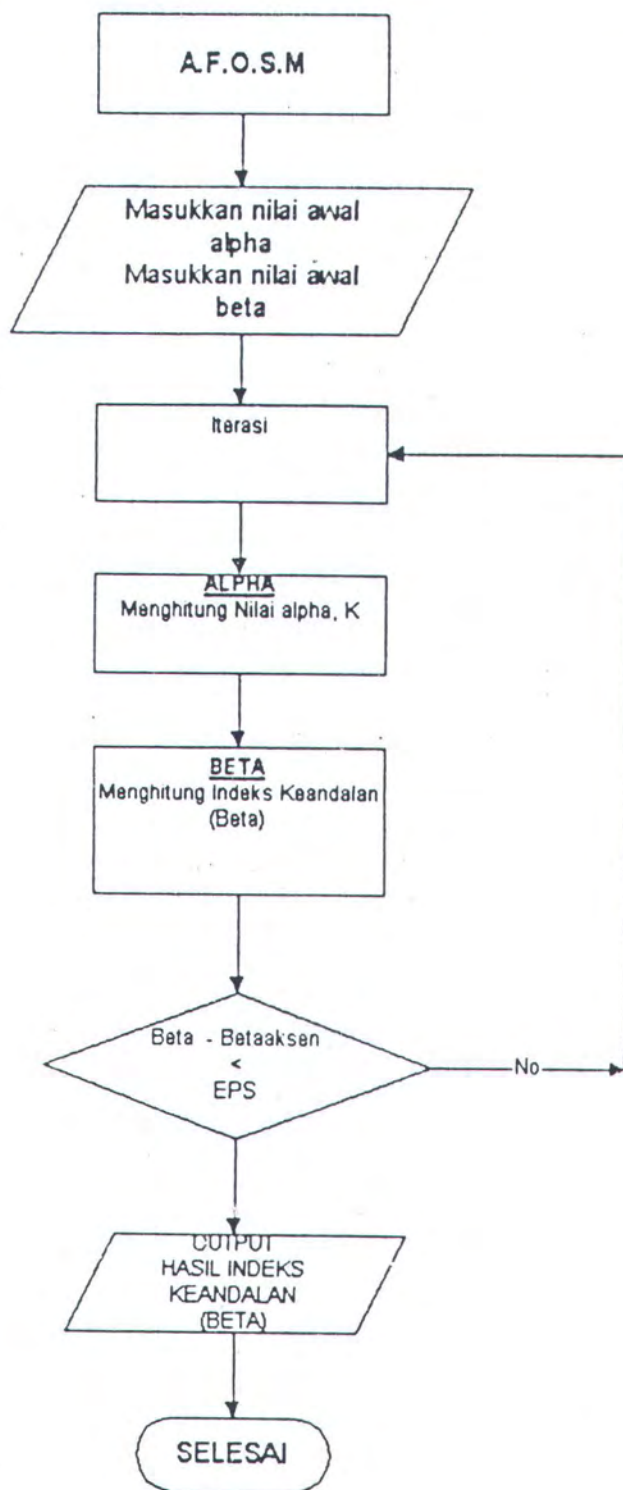


Gambar 3.3 Diagram Alir lanjutan  
Penjabaran program Utama





Gambar 3.4 Diagram alir Lanjutan Penjabaran program Utama



Gambar 3.5 Diagram Alir Metode A.F.O.S.M



Untuk diagram alir A1 sama dengan diagram alir A perbedaannya pada jumlah perubah dasar.

Untuk diagram alir Simulasi Montecarlo dijelaskan pada bab berikutnya.

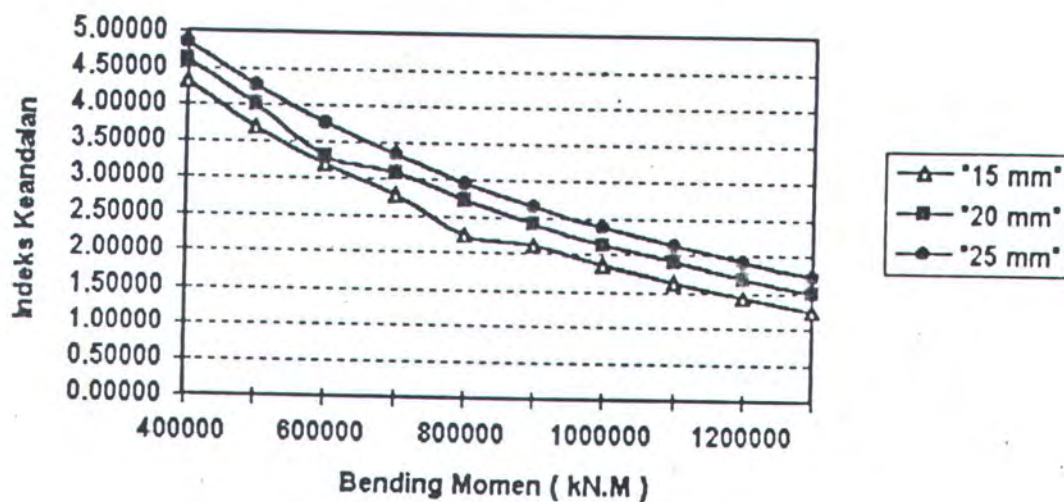
Berikut hasil perhitungan indeks keandalan dengan metode AFOSM dan hasilnya diplotkan pada grafik.

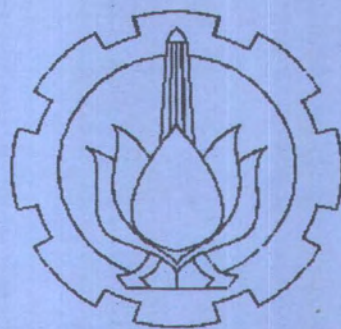
Tabel :3.2

Bending Momen kN.M	Indeks Keandalan ( $\beta$ )		
	tebal 15 mm	tebal 20 mm	tebal 25 mm
400000	4,30998	4,61229	4,85658
500000	3,69326	4,00323	4,25900
600000	3,18999	3,49772	3,75518
700000	2,77280	3,07427	3,32858
800000	2,24111	2,71473	2,96392
900000	2,11994	2,18500	2,64863
1.000.000	1,85868	2,13601	2,37305
1.100.000	1,62900	1,89888	2,12980
1.200.000	1,42617	1,68820	1,91300
1.300.000	1,24448	1,49948	1,71880

Tabel untuk gambar 3.6

Gambar 3.6 : A.F.O.S.M





## **BAB IV**

# **PROGRAM SIMULASI MONTECARLO**



## BAB IV

### PROGRAM SIMULASI MONTE CARLO

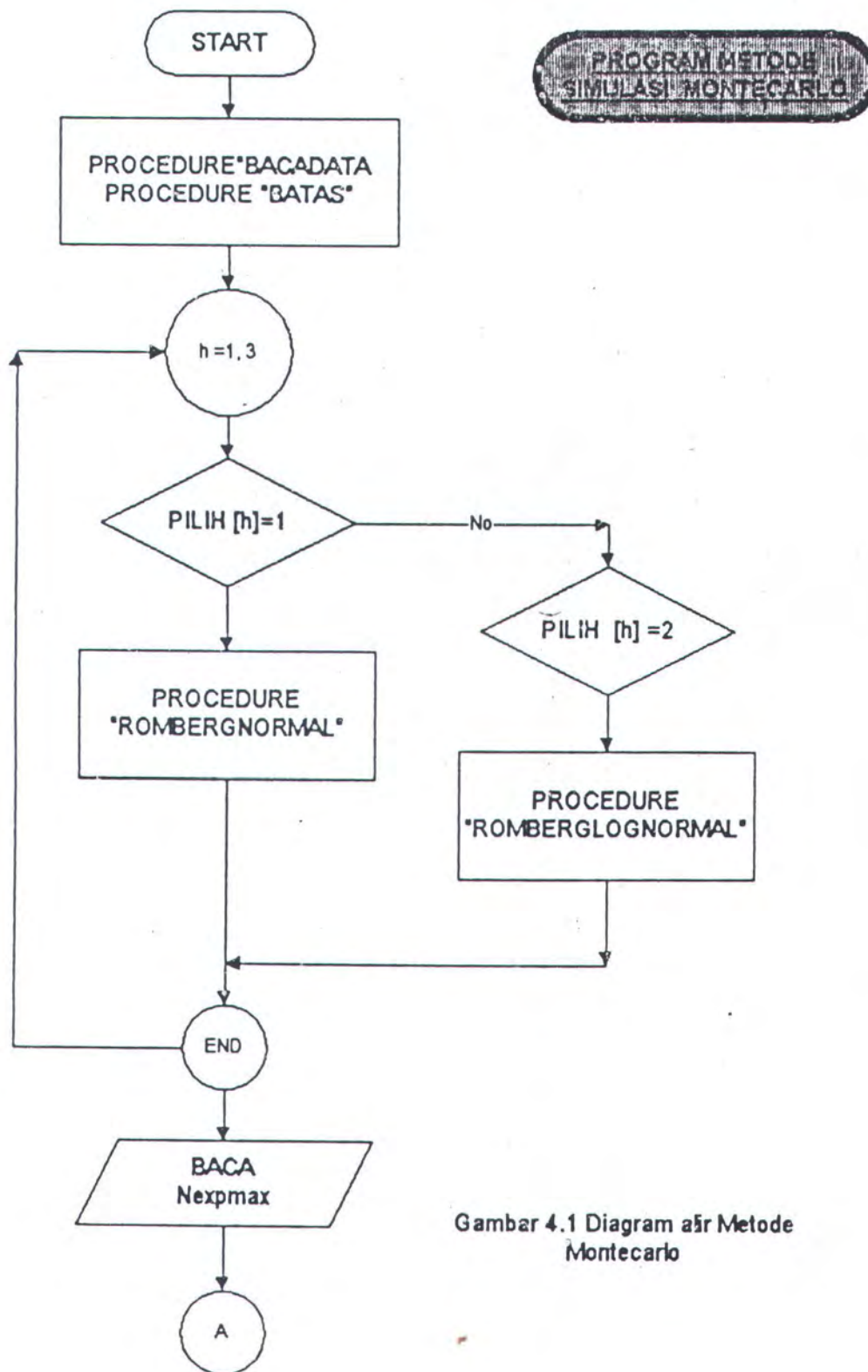
Setelah indeks keandalan dicari dengan metode AFOSM maka perlu dibandingkan dengan metode lain yaitu simulasi Montecarlo, dengan metode ini untuk membandingkan hasil indeks keandalan yang didapat dengan metode AFOSM. Simulasi Montecarlo ini dibuat dengan bahasa pemrograman tingkat tinggi (High Level Language) Turbo Pascal ver. 7.0 dan dijalankan pada komputer IBM kompatibel. Program ini cukup sederhana dan dasar cara berpikir sebagai berikut:

1. Pada metode simulasi montecarlo proses transformasi seperti pada metode A.F.O.S.M yaitu dari merubah dari perubah berkorelasi ke perubah tak berkorelasi, untuk rumus moda kegagalan sama seperti pada rumus 3.15a.
2. Masukkan Data, yaitu Mean dan Varian dari tiap perubah dasar tegangan Kritis panel geladak ( $Y_1$ ), Modulus penampang geladak ( $Y_2$ ), momen bending ( $Y_3$ ), Kemudian memilih jenis distribusi peluang tiap basic variabel.
3. Transformasi fungsi kerapatan peluang (pdf. Probability Density Function) menjadi (cdf.Cumulative Density Function) dari tiap perubah dasar.
4. Bangkitkan angka random ( antara 0 dan 1 ) untuk setiap basic variabel kemudian transformasikan menjadi sesuai menurut jenis dirtribusinya.
5. Loop sebanyak jumlah percobaan yang diminta, Nexpmx, kemudian mencatat setiap loop yang mengalami kegagalan (nilai safety margin lebih

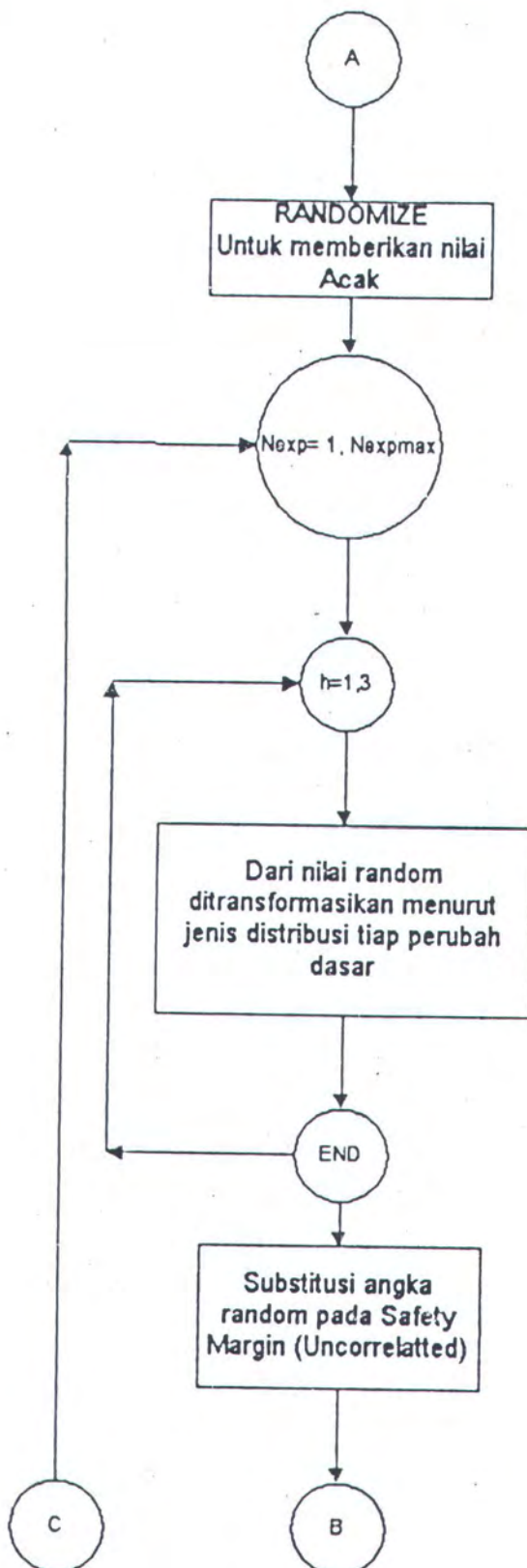
5. Loop sebanyak jumlah percobaan yang diminta,  $N_{expmax}$ , kemudian mencatat setiap loop yang mengalami kegagalan (nilai safety margin lebih kecil dari nol),  $N_{fail}$ , dan setelah itu menghitung angka reliabiliti  $R_e = 1 - N_{fail}/N_{expmax}$ .

Diagram alirnya sebagai berikut :

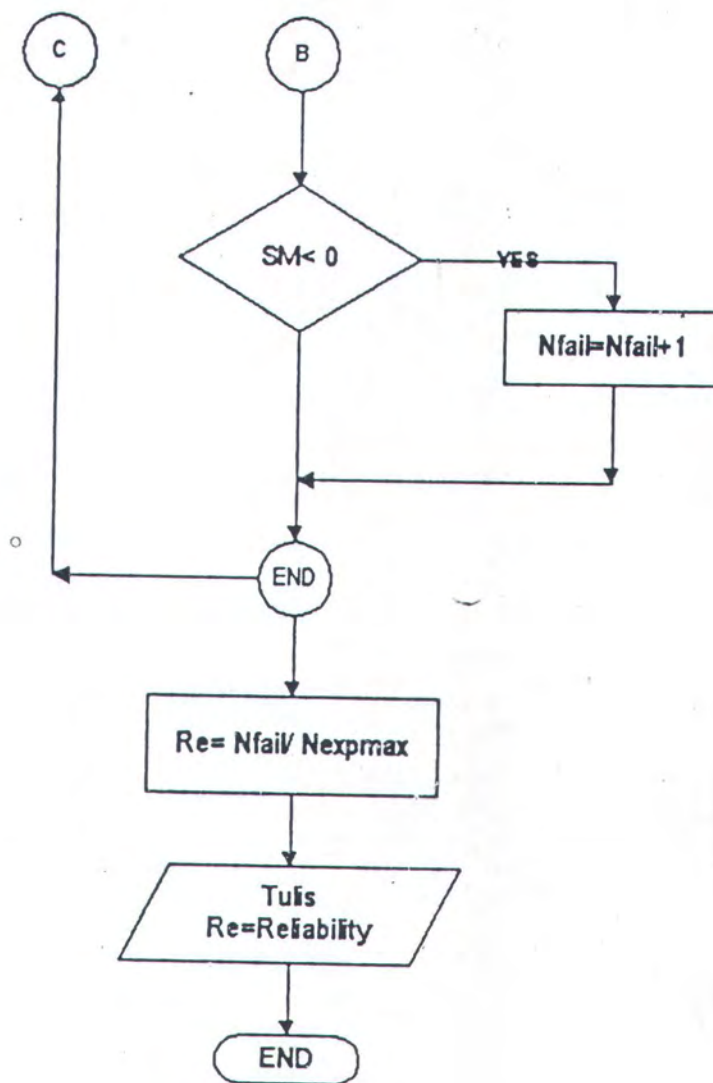




Gambar 4.1 Diagram alir Metode Montecarlo



Gambar 4.2 Diagram Alir Lanjutan  
Metode Montecarlo



Gambar.4.3 Diagram alir Lanjutan Metode Montecarlo



#### Keterangan Program :

Program ini merupakan lanjutan dari program utama pada bab 3 dimana pada penjelasan sebelumnya dijelaskan tentang transformasi perubah dasar berkorelasi ke perubah dasar tak berkorelasi sehingga didapat perubah dasar (Y) dan rumus untuk Safety margin.

Prosedur pertama pada subprogram ini yaitu prosedur 'bacadata' yang berfungsi membaca data-data masukan. Data masukan berupa jenis distribusi tiap perubah dasar dan parameter-parameter perubah dasar berupa mean (mean[h]) dan varian (sd[h]) yang merupakan fungsi dari COV dan mean[h], untuk distribusi normal dan distribusi Lognormal. yaitu perubah [1] untuk Tegangan kritis panel geladak, perubah [2] untuk modulus penampang geladak dan perubah [3] untuk Bending yang bekerja pada badan kapal dan data-data masukan tersebut merupakan hasil transformasi perubah berkorelasi ke perubah tak berkorelasi, maka pada procedure Baca data ini kita hanya masukkan jenis distribusi tiap basic variable, hanya untuk tegangan kritis panel geladak perlu dimasukkan nilai COV tegangan panel geladak.

Cara memasukkan data tiap jenis distribusi yaitu ketik angka yang diminta, misalnya pilihan jenis distribusi, ketik angka '1' untuk distribusi Normal. maka untuk nilai mean perubah dasar [ $Y_1$ ] langsung ada tampilan, maka hanya memasukkan nilai COV tegangan kritis panel geladak, dengan catatan bahwa satuan yang dipakai harus tetap konsisten untuk perubah berikutnya.

Prosedur yang kedua yaitu prosedur 'batas' yang fungsinya memberikan nilai batas atas dari tiap perubah dasar. Nilai Batas Atas yaitu nilai penyimpangan ke

atas maksimum dari nilai rata-rata ( $\text{mean}[h]$ ) dan batas bawah yaitu nilai penyimpangan maksimum ke bawah dari rata-rata ( $\text{mean}[h]$ ) tiap perubah dasarl.

Menentukan nilai batas atas dan batas bawah harus cukup cermat dengan pertimbangan bahwa integral kurva pdf dengan batasan batas bawah dan batas atas mendekati 1.0 tetapi pembagian nilai sumbu axis pdf yang cukup kecil agar cdf yang diperoleh cukup 'mulus' (streamline).

Nilai batas atas dan bawah ini ditentukan 4 kali nilai parameter varian

$$\text{LLimit} := \text{mean}[h] - 4 * \text{sd}[h];$$

$$\text{Ulimit} := \text{mean}[h] + 4 * \text{sd}[h];$$

ke arah atas dan ke arah bawah untuk distribusi Normal. Untuk distribusi Lognormal ditentukan batas bawah sama dengan 6 kali nilai parameter median.

$$\text{Ulimit} := \exp(\text{mean}[h] * 6; \text{dimana } \text{mean} := \ln(\text{median}))$$

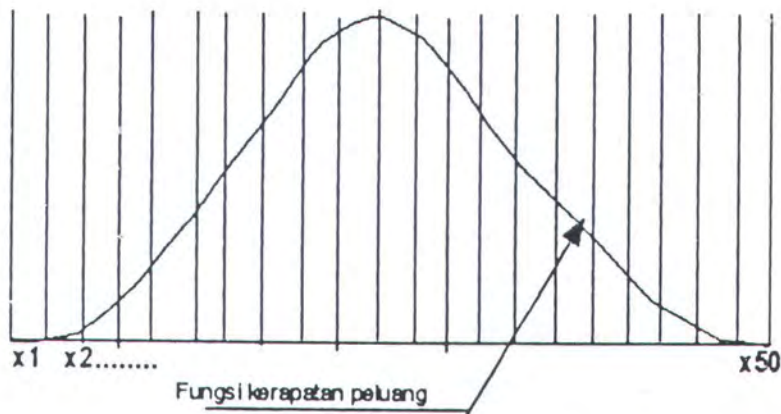
dan batas bawah sama dengan 0,05 kali nilai parameter median,

$$\text{Llimit} := \exp(\text{mean}[h] * 0,05);$$

Disamping berfungsi memberi nilai-nilai batas, prosedur 'batas' berfungsi membagi area yang berada di bawah fungsi kerapatan peluang menjadi 50 pias dengan jarak yang sama

$$\text{range}[h] := (\text{Ulimit} - \text{Llimit}) / 50$$



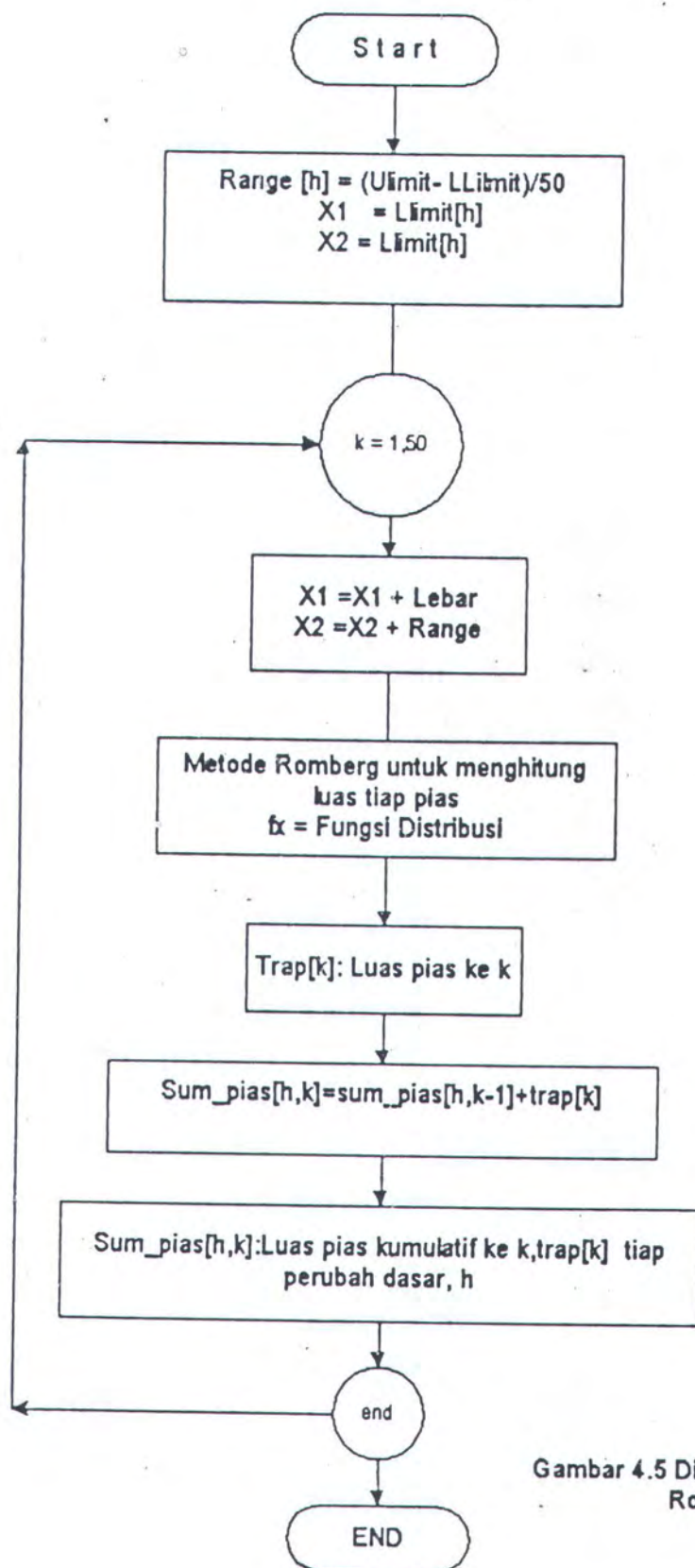


Gambar 4.4 Pembagian luasan

Selanjutnya adalah prosedur-prosedur yang berfungsi untuk mentransformasikan fungsi kerapatan peluang (pdf.Probability Density Fuction) menjadi fungsi kerapatan kumulatif (cdf.Cumulative Density Fuction). Prosedure-procedure tersebut adalah procedure Rombergnormal untuk distribusi Normal dan procedure Romberlognormal untuk distribusi Lognormal.

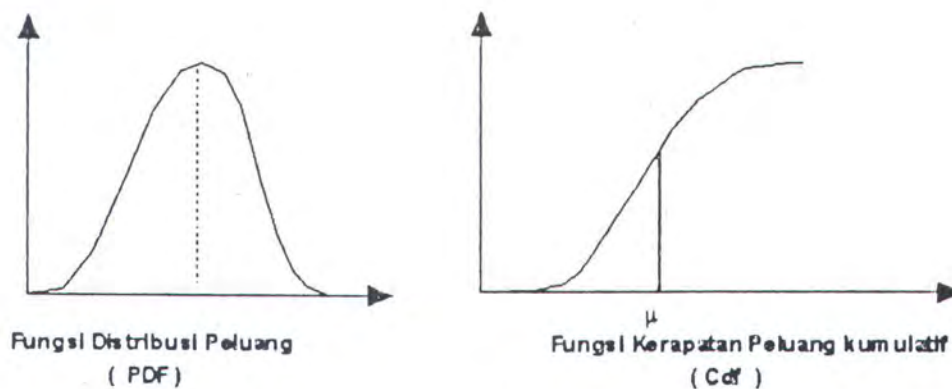
Cara kerja prosedur-prosedur ini sebagai berikut:





Gambar 4.5 Diagram Alir metode Romberg

Dengan menggunakan metode Rombergh dihitung tiap luas tiap pias dibawah pdf dan disimpan pada  $trap[k]$ . Setelah semua pias dihitung maka luasan pias tersebut dijumlahkan secara kumulatif sampai pias ke-50 dan disimpan pada  $Sum\_pias[h,k]$ . Sehingga jika dibuat grafik dengan menggunakan  $xindeks[h,k]$  sebagai absis dan ordinat  $Sum\_pias[h,k]$  akan menjadi fungsi kerapatan peluang kumulatif (cdf).



Gambar 4.6 Fungsi Distribusi Peluang dan Kerapatan peluang

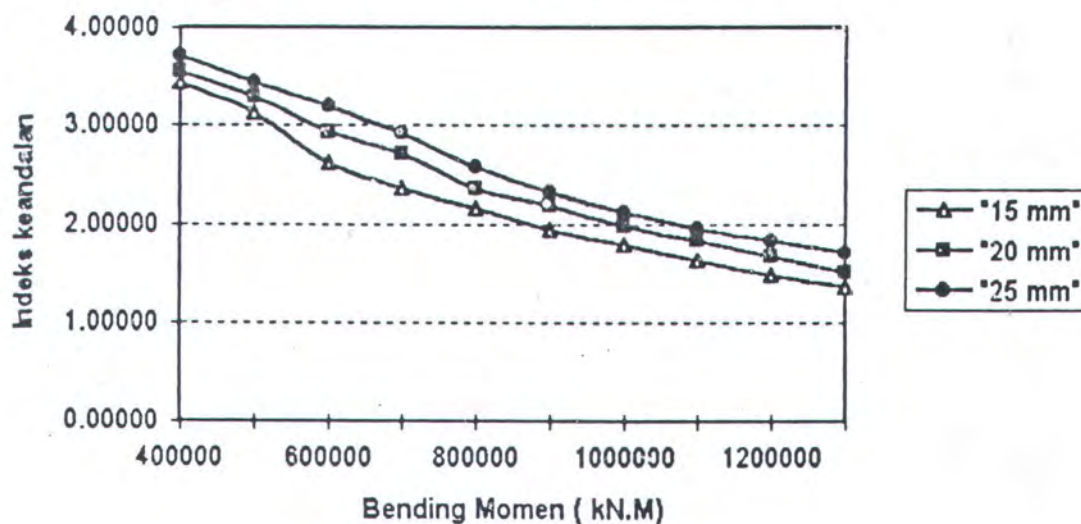
Berikut hasil running program yang dibandingkan dengan metode A.F.O.S.M

Tabel 4.1

Bending Momen kN.M	Indeks Keandalan ( $\beta$ )		
	tebal 15 mm	tebal 20 mm	tebal 25 mm
400000	3,43500	3,55000	3,71500
500000	3,12000	3,29000	3,43500
600000	2,62500	2,93000	3,19500
700000	2,36200	2,71500	2,92500
800000	2,15600	2,36500	2,57500
900000	1,94200	2,18500	2,31500
1.000.000	1,78200	1,97600	2,11500
1.100.000	1,62900	1,82500	1,95500
1.200.000	1,47200	1,66200	1,82500
1.300.000	1,35000	1,49500	1,70500

Tabel untuk gambar 4.7

Gambar 4.7 Indeks Kend. dgn Metode Montecarlo



Berikut perbandingan hasil Indeks Keandalan antara metode A.F.O.S.M dan Montecarlo.

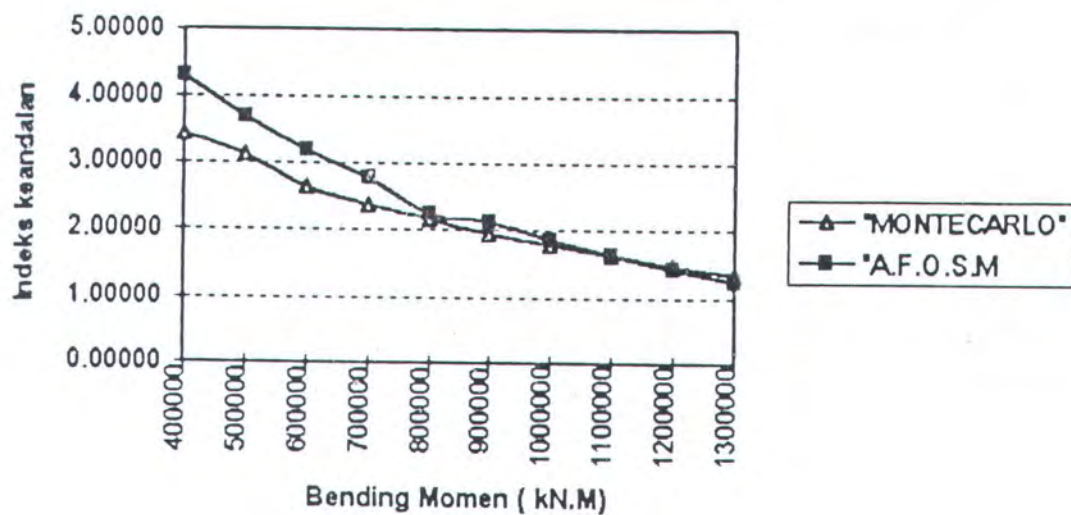


Tebal 15 mm

Bending Momen	Indeks Keandalan ( $\beta$ )	
	A.F.O.S.M	Montecarlo
400000	4,30998	3,43500
500000	3,69326	3,12000
600000	3,18990	2,62500
700000	2,77280	2,36200
800000	2,24211	2,15600
900000	2,11994	1,94200
1.000.000	1,85868	1,78200
1.100.000	1,62900	1,62900
1.200.000	1,42617	1,47200
1.300.000	1,24448	1,35000

Tabel 4.2 untuk gambar 4.8

Perbandingan Indeks Keand. Montecarlo dgn AFOSM



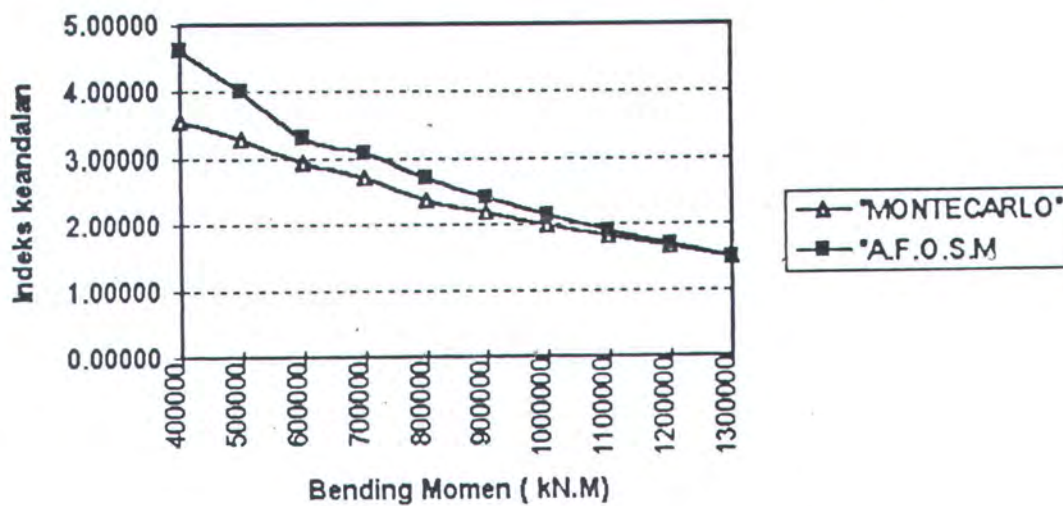
Gambar 4.8 Perbandingan Indeks Kend. Metode Montecarlo dengan AFOSM

Tebal 20 mm

Bending Momen	Indeks Keandalan ( $\beta$ )	
	A.F.O.S.M	Montecarlo
400000	4,61229	3,55000
500000	4,00323	3,29000
600000	3,29772	2,93000
700000	3,07427	2,71500
800000	2,71475	2,36500
900000	2,40541	2,18500
1.000.000	2,13601	1,97600
1.100.000	1,89888	1,82500
1.200.000	1,68820	1,66200
1.300.000	1,49948	1,49500

Tabel 4.3 untuk gambar 4.9

Perbandingan Indeks Keand. Montecarlo dgn AFOSM



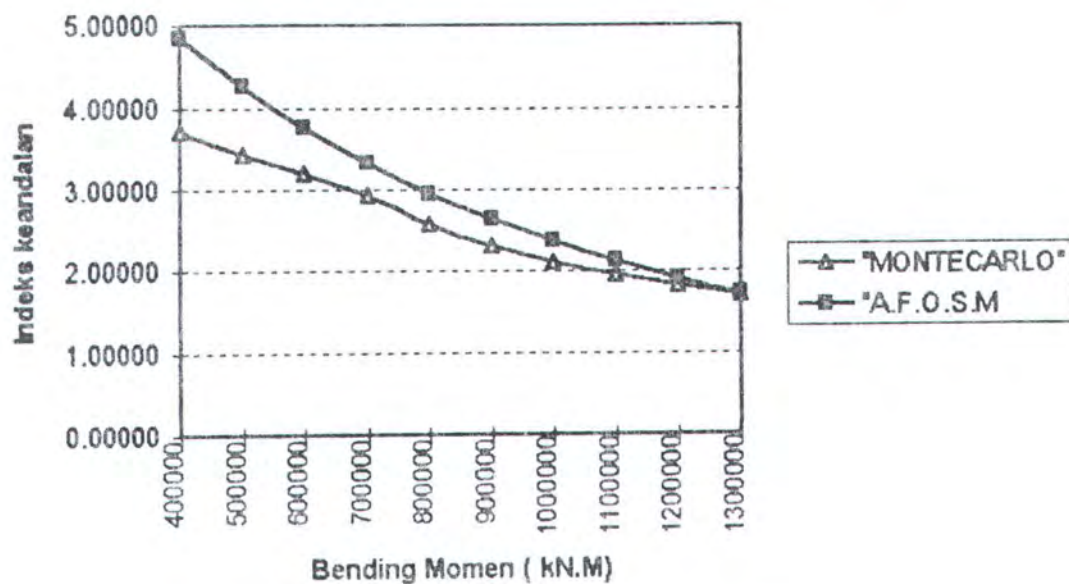
Gambar 4.9 Perbandingan Indeks Kend. Metode Montecarlo dengan AFOSM

Tebal 25 mm

Bending Momen	Indeks Keandalan ( $\beta$ )	
	A.F.O.S.M	Montecarlo
400000	4,85658	3,71500
500000	4,25900	3,43500
600000	3,75518	3,19500
700000	3,32858	2,92500
800000	2,94000	2,57500
900000	2,64863	2,31500
1.000.000	2,37305	2,11500
1.100.000	2,12980	1,95500
1.200.000	1,91300	1,82500
1.300.000	1,71880	1,70500

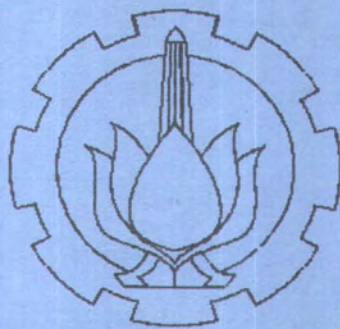
Tabel 4.4 untuk gambar 4.10

Perbandingan Indeks Keand.Montecarlo dgn AFOSM



Gambar 4.10 Perbandingan Indeks Kend. Metode Montecarlo dengan AFOSM





## **BAB V**

# **ANALISA HASIL PERHITUNGAN**



## BAB V

### ANALISA HASIL PERHITUNGAN

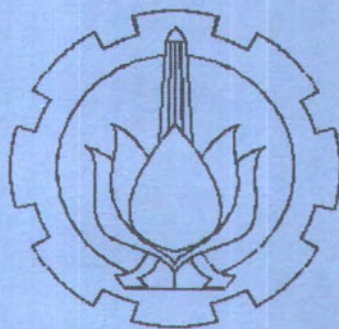
Pada analisa keandalan kapal tanker 17.500 DWT ini, dengan menvariasikan tebal pelat geladak 15 mm sampai 25 mm menyebabkan tegangan kritis panel geladak bervariasi termasuk juga modulus penampang geladak, Momen inersia pelintang dan pembujur geladak juga bervariasi. Momen bending (M) bervariasi antara 400.000 kN.m sampai 1.300.000 kN.m, untuk mengetahui bagaimana indeks keandalan  $\beta$  kapal tanker tersebut mengalami kenaikan atau penurunan, sesuai gambar 4.8 - 4.10 bahwa makin besar momen bending yang terjadi makin kecil indeks keandalannya.

Untuk membandingkan hasil AFOSM dengan simulasi Monte Carlo, diambil beberapa nilai parameter. Nilai - nilai tebal plat yang diambil yaitu 15 mm sampai 25 mm, Dengan tebal 15 mm karena nilai ini merupakan hasil perhitungan tebal plat penampang kapal tanker 17.500 DWT berdasarkan gambar penampangnya(Lampiran 2).

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa pada saat pembebanan yang lebih besar (dari variasi nilai) kedua grafik cenderung menghasilkan nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Sebaliknya pada waktu pembebanan yang kecil, metode AFOSM cenderung lebih optimistik daripada simulasi montecarlo.

Sampai saat ini memang belum ada target  $\beta$ , atau kecenderungan mengenai batasan keandalan (Indeks Keandalan  $\beta$ ) dan probabilitas kegagalan ( $P_f$ ), yang dikeluarkan oleh suatu regulasi tertentu. Tetapi data kapal umumnya yang sudah dirancang mencapai harga  $\beta$  antara 2,0 ~ 4,0 [Mansour SSC 351, (1990)]. Dengan demikian maka dapat dilihat bahwa dengan kondisi pembebanan yang terjadi berdasarkan hasil perhitungan dari PT PAL INDONESIA dan dengan rumus ABS '96 serta parameter-parameter yang lain dari kapal Tanker berdasarkan data-data yang ada, maka tingkat keselamatan kapal Tanker 17.500 DWT dapat dikatakan cukup aman.





## **BAB VI**

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan keandalan, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

1. Kapal yang dianalisa adalah kapal Tanker 17.500 DWT dengan bending momen sebesar 1.300.000 berdasarkan rules ABS 1996 dan PT PAL Indonesia, nilai indeks keandalan  $\beta$  1,25 yang diperoleh dari hasil perhitungan Metode AFOSM. Dengan simulasi Montecarlo diperoleh indeks keandalan  $\beta$  1,35.
2. Pada bending momen sebesar 101.055 ton.f.M dari perhitungan tahap perancangan awal dari PT PAL INDONESIA (Lampiran 3) diperoleh indeks keandalan  $\beta$  sekitar 2 (Tabel 4.2 ), yang diperoleh dari hasil perhitungan Metode AFOSM dan simulasi Montecarlo. Dan dapat disimpulkan bahwa kapal Tanker 17.500 DWT, tingkat keamanannya terhadap tekuk menyeluruh cukup memadai.
3. Terdapat kemiripan hasil perhitungan antara AFOSM dan simulasi montecarlo pada kondisi pembebanan momen bending lebih besar dari 900.000 kN.M sebaliknya untuk beban dibawah 900.000 kN.M metode AFOSM lebih optimistik ( gambar 4.8 - 4.10) daripada metode montecarlo.



---

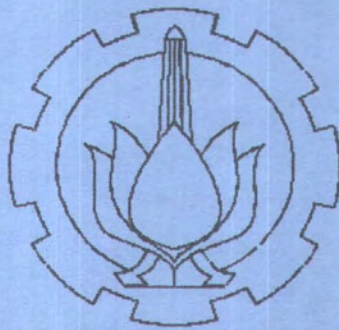
Karena kemudahan pengaplikasian metode AFOSM dan simulasi Montecarlo pada proses perancangan, maka disarankan untuk digunakan sejak awal perancangan struktur.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Ang, Alfredo H-S. & Wilson H. Tang, "Konsep-konsep Probabilitas dalam Perancangan Rekayasa" Jilid I, th 1992, Penerbit Erlangga, Jakarta.
2. Mansour, A.E. "An Introduction Marine Structure Reliability", Ship Structure Committee, 1990.
3. Mansour, A.E and Hovem, L. "Probability-Based Ship Structural Safety Analysis", *Journal Ships Reserach*, Vol 38.No. 4, Dec 1994, SNAME.
4. Agriyasa I.G.N. "An. Kegagalan Struktur Sederhana Bangunan Lepas Pantal dengan Metode Reliability", Fakultas Teknologi Kelautan, ITS, 1993.
5. Kececiloglu, Dimitri, "Reliability Engineering Handbook". Vol I, Departement of Aerospace and Mechanical Engineering The University of Arizona, 1991, by PTR Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
6. Kusumadianto. HJ "Simulasi dengan metode Montecarlo", *Majalah Univ. Atmaja*, 1994.
7. Lewis. Edward, V. "Principles Of Naval Architecture", Vol I Stability & Strength, Edition 2, 1988, Published by The Society Of Naval Architecture & Marine Engineering, 601 Pavonia Avenue Jersey City, Nj.
8. O'Connor, PDT. "Practical Reliability Engineering", 1991, John Willey and sons, inc.
9. Wickham, A.H.S, "Structural Reliability Of Ships Structure", 1991, Advanced & Engineering Ltd.
10. Soegeng, R, "Komputasi Numerik dengan Turbo Pascal", Edisi I, 1993, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
11. Christensen-Thoft, Palle & Murotsu, Y, "Application Of Structural Systems Reliability", Theory, 1986, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg in Germany.
12. Hughes, Owen, "Ship Structural Design: A Rationally-Based, Computer-Aided, Optimization Approach", 1983, by John Willey and Sons, New York.
13. Wagey. N Franciscus, "An. Keand. Struktur Terapung Akibat Pembebanan memanjang", 1996, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS, Surabaya.





**LAMPIRAN**

```

PROGRAM MONTE_AFOSM;
[SN+,E+]
USES DOS,PRINTER,CRT,GRAPH;

```

```

(*PROGRAM MENGHITUNG INDEKS KEANDALAN DENGAN METODE A.F.O.S.M
  DAN METODE MONTECARLO
  BY : M. AGUS BUDIMAN *)

```

```

const
  list:array[1..2]of string[40]=(' Distribusi Normal (Gaussian)',
                                   ' Distribusi LogNormal ');
  EPS = 1E-6;
  DETK=0.062;
  DETE=2.1e4;
  DETPHI= 3.14;
  DETPOIS=0.3;
  DETB=1200.00;
  yld =23.5;

```

```

TYPE
  matriks=array [1..10,1..10] of double;
  mat1=array[1..50]of double;
  mat3=array[1..50,1..10,1..10] of real;
  mat2=array[1..8,1..8]of real;
  mat11=array[1..10] of real;

  tData      = Array [1..8] Of double;
  Intpilih   = Array [1..8] of Byte;
  Intxindeks = Array [1..8,1..52] Of Real;

  FDATA = RECORD
    COV6F,COV7F,M1F,M2F,M3F,M4F,M5F,M6F,M7F:REAL;
  END;
  FDATA2= RECORD
    XX:real;
  END;

```

```

Var
  n,jlv:integer;
  be,alp1,alp2,alp3,alp4:array[1..50] of double;
  pil4:byte;
  bv,sd,mean,COVc,ulimit,llimit : tData;
  sdy,meany:array[1..8] of double;
  pilih                               : Intpilih;
  h                                   : Shortint;
  totalluas,luas:array[1..55] of real;
  mdd,fdd:integer;
  nfail,nexp,nexpmax,mh:integer;
  ran:tdata;
  sum_pias :intxindeks;
  re,safety_margin,sf1 :real;
  trap :array[1..20,1..20]of real;

  p:mat3;
  a,am,b1,blt,B1TI,clm,d1,mbb,mb:matriks;
  teta,ared:real;

```



```

i,w,iterasi,r,s:INTEGER;
ulang:boolean;
jl_data:integer;
stdbk:mat1;
filedata : file of fdata;
file2     : file of fdata2;
FILE3     : file of real;
nama,nama2,nama3      : string[25];
data                : fdata;
data2               : fdata2;
kor,mc              : mat2;
m,cov               : tdata ;
Covbk,mbk           : mat11;
pil,pil2,pil3        : byte;

c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8,c9      :real;
Betaaksen,alaksen,a2aksen,a3aksen, : Real;
moda,Z1,Z2,Z3                    : REAL;
Bb1,BB2A,BB2B,BB2C,BB3A,BB3B,BB3C : DOUBLE;
Adet,tegxl,tegsla,tegslb,tegslc,tegxl,TEGXA : DOUBLE;
COVA,COVD,COVE,MA,MD,ME          : REAL;
TEKAN                            : CHAR;
k:extended;
sa,yt,covdd:mat11;
y:matriks;

PROCEDURE INPUT1;
var i:byte;
PROCEDURE INPUTBARU;
BEGIN
WRITE('NAMA FILE : ');READLN(NAMA);
ASSIGN(FILEDATA,NAMA);
REWRITE(FILEDATA);
CLRSCR;
WITH DATA DO
BEGIN
repeat
($i-)
Write('Mean Momen Inersia Pelintang (Ix) ?')
;readln(M1F);
($I+)
gotoxy(wherex,wherey-1);delline;
until ioresult=0;
gotoxy(wherex,wherey+1);
repeat
($i-)
Write('Mean Momen Inersia Pembujur (Iy) ?') ;readln(M2F);
gotoxy(wherex,wherey-1); delline;
until ioresult=0;
gotoxy(wherex,wherey+1);
repeat
($i-)
Write('Mean Jarak antar Pelintang geladak (Sx) ?') ;readln(M3F);
gotoxy(wherex,wherey-1); delline;
until ioresult=0;
gotoxy(wherex,wherey+1);
repeat

```

```

    {$i-}
    Write('Mean Jarak antar Pembujur geladak (Sy) ?') ; readln (M4F) ;
    gotoxy(wherex,wherey-1) ; delline ;
    until ioresult=0 ;
    gotoxy(wherex,wherey+1) ;
repeat
    {$i-}
    Write('Mean Tebal Pelat Geladak ?') ; readln (M5F) ;
    gotoxy(wherex,wherey-1) ; delline ;
    until ioresult=0 ;
    gotoxy(wherex,wherey+1) ;
repeat
    {$i-}
    Write('Mean Modulus Penampang Geladak (W) ?') ; readln (M6F) ;
    gotoxy(wherex,wherey-1) ; delline ;
    until ioresult=0 ;
    gotoxy(wherex,wherey+1) ;
repeat
    {$i-}
    write('COV Modulus Penampang Geladak ?') ; readln (COV6F) ;
    gotoxy(wherex,wherey-1) ; delline ;
    until ioresult=0 ;
    gotoxy(wherex,wherey+1) ;
repeat
    {$i-}
    Write('Mean Bending Momen (BM) ?') ; readln (M7F) ;
    gotoxy(wherex,wherey-1) ; delline ;
    until ioresult=0 ;
    gotoxy(wherex,wherey+1) ;
repeat
    {$i-}
    write('COV Bending Momen ?') ; readln (COV7F) ;
    gotoxy(wherex,wherey-1) ; delline ;
    until ioresult=0 ;
    gotoxy(wherex,wherey+1) ;
END ;
WRITE (FILEDATA, DATA) ;
CLOSE (FILEDATA) ;
END ;

```

PROCEDURE INPUTLAMA ;

BEGIN

  {\$I-}

  i:=0 ;

  repeat

    if i>0 then writeln('file tidak ada') ;

    WRITE ('NAMA FILE : ') ; READLN (NAMA) ;

    ASSIGN (FILEDATA, NAMA) ;

    RESET (FILEDATA) ;

    i:=i+1 ;

  until ioresult=0 ;

  {\$I+}

READ (FILEDATA, DATA) ;

WITH DATA DO

BEGIN

```

    COV[6]:=COV6F;
    COV[7]:=COV7F;
    M[6]:=M6F;
    M[7]:=M7F;
END;
CLOSE(FILEDATA);
clrscr;
Textcolor(RED);TEXTBACKGROUND(WHITE);
Writeln('Mean Momen Inersia Pelintang (Ix)      = ',M[1] :12:7);
Writeln('Mean Momen Inersia Pembujur (Iy)       = ', M[2] :12:7);
Writeln('Mean Jarak antar Pelintang geladak (Sx) = ',M[3] :12:7);
Writeln('Mean Jarak antar Pembujur geladak (Sy)  = ',M[4] :12:7);
Writeln('Mean Tebal Pelat Geladak                = ',M[5] :12:7);
Writeln('Mean Modulus Penampang Geladak (W)       = ',M[6] :12:7);
Writeln('COV Modulus Penampang Geladak            = ',COV[6]:12:7);
Writeln('Mean Bending Momen (BM)                   = ',M[7] :12:7);
Writeln('COV Bending Momen                         = ',COV[7]:12:7);
readln;
END;

BEGIN
    repeat
        clrscr;
        Writeln('DATA UTAMA');
        Writeln('1. DATA LAMA');
        Writeln('2. DATA BARU');
        Writeln('PILIHAN : ');READLN(PIL);
        until pil in[1,2];
        Writeln;
        IF PIL=2 THEN INPUTBARU;
        INPUTLAMA;
    END;{PROCEDURE input1}
    PROCEDURE inputkorelasi(n:integer);
    PROCEDURE inputbaru2(n:integer);
    var i,j:integer;
    Begin
        TEXTCOLOR(WHITE);TEXTBACKGROUND(red);
        Write('NAMA FILE : ');READLN(NAMA2);
        assign(file2,nama2);
        rewrite(file2);
        for i:=1 to (n-1) do
            for j:=2 to n do
                begin
                    if j>i then
                        begin
                            Write('Korelasi x',i,'x',j,' : ');readln(kor[i,j]);
                            data2.xx:=kor[i,j];
                            write(file2,data2);
                        end;
                end;
            close(file2);
        end;

    PROCEDURE inputlama2(n:integer);
    var i,j:integer;

```



```

begin
  i:=0;
  TEXTCOLOR(red);TEXTBACKGROUND(WHITE);
  {$I-}
  repeat
    if i>0 then Writeln('file tidak ada');
    Write('NAMA FILE : ');READLN(NAMA2);
    assign(file2,nama2);
    reset (file2);
    until IOresult=0;
  {$I+}
  for i:=1 to (n-1) do
    for j:=2 to n do

      begin
        if j>i then
          begin
            read(file2,data2);kor[i,j]:=data2.xx;
            Writeln('Korelasi x',i,'x',j,' : ',data2.xx);
          end;
        end;
      close(file2);
      readln;
    end;

  BEGIN
    clrscr;
    Writeln('DATA KORELASI');
    Writeln('1. DATA LAMA');
    Writeln('2.DATA BARU');
    Writeln('PILIHAN : ');READLN(PIL2);
    Writeln;
    IF PIL2=2 THEN INPUTBARU2(n)
    else INPUTLAMAZ(n);
  END;

  PROCEDURE bentukmatriks(n:integer;m,cov:tdata;kor:mat2);
  var i,j :integer;
  begin
    for i:=1 to n do
      begin
        for j:=1 to n do
          begin
            if i=j then mc[i,j]:=sqr(m[i]*cov[i])
            else
              begin
                if i<j then
                  begin
                    mc[i,j]:=kor[i,j]*m[i]*cov[i]*m[j]*cov[j];
                    mc[j,i]:=mc[i,j];
                  end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        for i:=1 to n do
          for j:=1 to n do

```

```

begin
  a[i,j]:=mc[i,j];
  am[i,j]:=mc[i,j];
end;
end;

PROCEDURE tulismatriks(n:integer);
var i,j :integer;

begin
  clrscr;
  Textcolor(Blue);textbackground(White);
  Writeln('Matriks COVARIANT');
  for i:=1 to n do
  begin
    Writeln;

    for j:=1 to n do
    begin
      Write(am[i,j]:10,' ');
    end;
  end;
  readln;
end;

PROCEDURE transpose(n:integer;a:matriks;var at:matriks);
var i,j :integer;
begin
  for i:=1 to n do
    for j:=1 to n do
      at[i,j]:=a[j,i];
    end;
  end;

procedure inverse(m:integer;a:matriKS;var b:matriks);
var i,j,k,l :integer;
    kt,d    : real;
begin;
  for i:=1 to m do
  begin
    for j:=1 to m do
    begin;
      b[i,j]:=a[i,j];
    end;
  end;

  for i:=1 to m do
  begin;
    d:=b[i,i];
    b[i,i]:=1.0;
    for j:=1 to m do
    begin
      b[i,j]:=b[i,j]/d;
    end;
    for l:=1 to m do
    begin
      if l<>i then

```

```

begin
    kt:=b[l,i];
    b[l,i]:=0;
    for j:=1 to m do
        begin
            b[l,j]:=b[l,j]-b[i,j]*kt;
        end;
    end;
end;
end;
end;
end;

```

```

PROCEDURE cross(k,l,m,n:integer;a,b:matriks;var c:matriks);
var i,j,o : integer;
begin
    for i:=1 to k do
        begin;
            for j:=1 to n do
                begin;
                    c[i,j]:=0;
                    for o:=1 to m do
                        begin;
                            c[i,j]:=c[i,j]+a[i,o]*b[o,j];
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

PROCEDURE jacobi(n:integer);
var i,j :integer;
begin
    ared:=am[l,2];
    r:=1;s:=2;
    for i:=1 to n do
        begin
            for j:=1 to n do
                if i<>j then
                    begin
                        if abs(am[i,j])>abs(ared) then
                            begin
                                ared:=am[i,j];r:=i;s:=j;
                            end;
                        end;
                    end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

PROCEDURE newmatriks(n,iterasi:integer);
var i,j:integer;
begin
    for i:=1 to n do
        for j:=1 to n do
            begin
                bl[i,j]:=p[iterasi,i,j];
            end;
        end;
    end;
end;

```



```

transpose(n,b1,b1t);
cross(n,n,n,n,b1t,am,clm);
cross(n,n,n,n,clm,b1,d1);
for i:=1 to n do
for j:=1 to n do
begin
    am[i,j]:=d1[i,j];
end;
am[r,s]:=0;
am[s,r]:=0;
end;

PROCEDURE matriks_p(n,iterasi:integer);
var i,j :integer;
begin
    if am[r,r]<>am[s,s] then teta:=0.5*arctan(2*am[r,s]/(am[r,r]-
am[s,s]))
    else teta:=0.25*pi;
    for i:=1 to n do

        for j:=1 to n do
        begin
            p[iterasi,i,j]:=0;
            if i=j then p[iterasi,i,j]:=1;
        end;
        p[iterasi,r,r]:=cos(teta);p[iterasi,s,s]:=cos(teta);
        p[iterasi,s,r]:=sin(teta);p[iterasi,r,s]:=-p[iterasi,s,r];
        newmatriks(n,iterasi);
    end;

PROCEDURE kontrol(n:integer);
var i,j: integer;
begin
    ulang:=false;
    for i:=1 to n do
    for j:=1 to n do
    begin
        if i<>j then
        begin
            if abs(am[i,j])>1e-12 then
            begin
                ulang:=true;
                exit;
            end;
        end;
    end;
end;
end;

PROCEDURE eigenvector(n:integer);
var i,j,k : integer;
begin
    for i:= 1 To N do
    For j := 1 To n do
    B1[i,j]:= p[1,i,j];
    if n>2 then
    For i := 2 To Iterasi Do

```

```

Begin
  For j := 1 To n Do
    For k := 1 To n do
      clm[j,k] := P[i,j,k];
      Cross(n,n,n,n,B1,clm,d1);
      for j:=1 to n do
        for k:=1 to n do
          bl[j,k]:=d1[j,k];
        end;
      end;
    end;

PROCEDURE tulis(n:integer;m,cov:tdata);
var i,j,k:integer;
begin
  TEXTCOLOR (RED);TEXTBACKGROUND (WHITE);
  k:=0;
  for i:=1 to n do
    begin
      Writeln('eigen value ',i,' = ',am[i,i]);
      k:=k+1;
      if k>23 then
        begin
          k:=1;
          readln;
        end;

      for j:=1 to n do
        begin
          Writeln(bl[j,i], ' ');
          k:=k+1;
          if k>23 then
            begin
              k:=1;
              readln;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;

end;

procedure transfor(n:integer;m,cov:tdata);
var i,j :integer;
begin
  transpose(n,b1,blt);
  writeln;
  writeln('EIGEN VECTOR TRANSPOSE');
  for i:=1 to n do
    begin
      sa[i]:=sqrt(abs(am[i,i]));
      for j:=1 to n do
        begin
          write(b1T[i,j]:12);
        end;
      writeln;
    end;
  sa[n+1]:=m[n+1]*cov[n+1];
  for i:=1 to n do

```

```

blti[i,1]:=m[i];
cross(n,n,n,1,blt,blti,y);
inverse(n,blt,blti);
writeln;
writeln('EIGEN VECTOR TRANSPOSE INVERSE');
for i:=1 to n do
begin
  for j:=1 to n do
  begin
    write(blTI[i,j]:12);
  end;
  writeln;
end;
writeln;

Writeln('Y                                     stdy');
Writeln('=====');
  for j:=1 to n do
  begin
    yt[j]:=(y[j,1]);
    writeln(yt[j]:12,' ':5,sa[j]:12);
  end;
writeln(m[n+1]:12,' ':5,sa[n+1]:12);
yt[n+1]:=m[n+1];
c1:=blti[1,1];
c2:=blti[2,1];
c3:=blti[1,2];
c4:=blti[2,2];
end;

PROCEDURE check(n:integer;m:tdata);
var j,i:integer;
begin
  transpose(n,bl,clm);
  cross(n,n,n,n,clm,a,d1);
  for i:=1 to n do
  begin
    mbb[i,1]:=-m[i]
  end;
  cross(n,n,n,1,clm,mbb,mb);
  cross(n,n,n,n,d1,bl,clm);
end;

procedure korelasi(n:integer;m,cov:tdata;kor:mat2);
begin
  clrscr;
  iterasi:=0;
  bentukmatriks(n,m,cov,kor);
  tulismatriks(n);
  if n>2 then
  begin
    repeat
      iterasi:=iterasi+1;
      Jacobi(n);
      matriks_p(n,iterasi);
      kontrol(n);
    until iterasi=10;
  end;
end;

```



```

    bel := m[3] - c1*c2*m[1]*m[1] - c1*c4*m[1]*m[2] - c2*c3*m[1]*m[2] -
    c3*c4*m[3]*m[3];

```

```

    be2a := 2*c1*c2*sa[1]*alp1[i] +
    c1*c2*sa[1]*sa[1]*alp1[i]*be[i]*alp1[i] + c1*c4*m[2]*sa[1]*alp1[i] +
    c1*c4*sa[1]*sa[2]*alp1[i]*be[i]*alp2[i] +
    c2*c3*m[1]*sa[2]*alp2[i] + c2*c3*m[2]*sa[1]*alp1[i] +
    c2*c3*sa[1]*sa[2]*alp1[i]*be[i]*alp2[i] +
    2*c3*c4*m[2]*sa[2]*alp2[i] +
    c3*c4*sa[2]*sa[2]*alp2[i]*be[i]*alp2[i] -
    sa[3]*be[i]*alp3[i];

```

```

    be[i] := bel/be2a;

```

```

if j>1000 then
    begin
        j:=0; readln;
    end;

```

```

Until abs(Be[I]-betaaksen) <= EPS;
writeln;
Writeln('Beta Konvergen', Be[I]); readln;
CLRSCR;
Writeln;

```

```

    Writeln('DATA - DATA ');
    Writeln('-----');
    Writeln('MEAN TEGANGAN KRITIS           : ', m[1]
:10:5, '':2, 'KN/Cm^2');
    Writeln('COV TEGANGAN KRITIS           : ', COV[1] :4:3);
    Writeln('MEAN MODULUS PENAMPANG GELADAK : ', M[2]
:10:5, '':2, 'Cm^3');
    Writeln('COV MODULUS PENAMPANG GELADAK : ', COV[2] :4:3);
    Writeln('MEAN BENDING MOMEN              : ', M[3]
:12:4, '':2, 'KN.Cm');
    Writeln('COV BENDING MOMEN              : ', COV[3] :3:3);
    WRITELN;
    Writeln('#####');
    Writeln('Indeks Keandalan : ', be[I] :12:5);
    Writeln('#####');
    Z1 := Be[I]*alp1[I]; Z2 := Be[I]*alp2[I]; Z3 := Be[I]*alp3[I];
    Write('Lanjutkan Iterasi? (Y/N) : '); Readln(Tekan);

```

```

Until (Tekan='N') or (Tekan='n');
END;

```

```

PROCEDURE BACADATA1 (Var pilih : intpilih; mean, covc: mat11);
Var

```

```

    h, i           : Shortint;
    pil: byte;
    nama: string[30];

```

```

Begin
  For h := 1 to jlv Do
    Begin
      Clrscr;
      Writeln('Jenis Distribusi Peluang BASIC VARIABLE[' ,h, ']' );
      Writeln('-----');
      Writeln('[1]*Distribusi Normal (Gaussian)');
      Writeln('[2]*Distribusi LogNormal ');
      writeln;
      Writeln('MEAN    = ',mean[h]);
      Writeln('COV     = ',covc[h]);writeln;
      Write('Pilihan anda?');Readln(Pilih[h]);
      sd[h]:=mean[h]*covc[h];
    end;
  end;

PROCEDURE BATAS (mean,covc:mat11);
Var
  h,i                               : Shortint;
  medy:double;
Begin
  Clrscr;
  For h :=1 to jlv Do
    Begin
      If (pilih[h]=1) then
        Begin
          Writeln;
          Writeln('Variabel[' ,h, ']' );
          LLimit[h] := Mean[h] - 4*sd[h];
          ULimit[h] := Mean[h] + 4*sd[h];
        End
      Else If (pilih[h]=2) then
        Begin
          Writeln;
          Writeln('Variabel[' ,h, ']' );
          many[h]:=2*ln(mean[h])-0.5*ln((sqr(sd[h])+sqr(mean[h])));
          sdy[h]:=sqrt(ln ((sqr(sd[h])+sqr(mean[h]))/sqr(mean[h])));
          Writeln('many   : ',many[h]:12,'':4,'sdy   : ',sdy[h]:12);
          medy:=exp(many[h]);
          llimit[h] := 0.05*medy;
          ulimit[h] := 6*medy;
        End;
      End;
    End;
  End;{End Of procedure batas}
end;

procedure modegrafik;
begin
  mdd:=vga;
  fdd:=vgahi;
  initgraph(mdd,fdd,'c:\dosapp\tp\bgi');
end;

procedure grafik(llimit,ulimit,range:real);
var i,xi,yi,zi:integer;
    skalax,skalay,skalaz,zmax:real;
begin

```

```

setgraphmode(fdd);
setbkcolor(green);
cleardevice;
zmax:=luas[1];
for i:=2 to 50 do
if luas[i]>zmax then zmax:=luas[i];

skalax:=500/(ulimit-llimit);
skalay:=300;
skalaz:=300/zmax;
xi:=50;yi:=0;
for i:=1 to 50 do
begin
xi:=xi+round(range*skalax);
zi:=round(luas[i]*skalaz);
setcolor(red);
circle(xi,450-zi,1);
yi:=yi+round(luas[i]*skalay);
setcolor(yellow);
circle(xi,450-yi,2);
end;
delay(3000);
restorecrtmode;
end;

PROCEDURE ROMBERGNORMAL(mean,covc:mat11);
Var
x,x1,x2,z,range,lebar          : Real;
delt,delx,pita,fx              : Real;
j,k                             : Shortint;
i:integer;
xp,yp:integer;
BEGIN
gotoxy(19,8);write('calculating ');
range:=(ulimit[h]-llimit[h])/50;
x1:=llimit[h];
x2:=llimit[h];
lebar:=0;
xp:=5;yp:=9;
For k :=1 to 50 Do
Begin
gotoxy(xp,yp);
gotoxy(wherex,wherey);write('^-');
xp:=wherex;yp:=wherey;
gotoxy(34,8);write(k/50*100:4:2,'%');
x1 := x1+lebar;
x2 := x2+range;
i := 0;
delt := 100;
if k=1 then lebar:=lebar+range;
Repeat
Begin
i := i+1;
Trap[i,1] := 0;
x := x1;
pita := Exp(i-1)*ln(2);
delx := (x2-x1)/pita;

```



```

While x < x2 Do
Begin
  (**Fungsi Kerapatan Peluang berdistribusi Normal**)
  fx := 1/(sd[h]*Sqrt(2*pi))*Exp(-0.5*sqr((x-
Mean[h])/sd[h]));
  {-----}
---}

If (x=x1) or (x=x2) Then Trap[i,1] := Trap[i,1]+fx
Else Trap[i,1] := Trap[i,1]+2*fx;
x := x +deltx;
End;

Trap[i,1] := Trap[i,1]*deltx/2;
if i>1 then
For j:=2 To i Do
Begin
  z := Exp((j-1)*ln(4));
  Trap[i,j] := z*Trap[i,j-1]-Trap[i-1,j-1];
  Trap[i,j] := Trap[i,j]/(z-1);
  Delt := Trap[i,i]-Trap[i-1,i-1];

End;

End;

Until Abs(Delt) < 1e-6;
luas[k] := Trap[i,i];
if k>1 then Sum_pias[h,k] := Sum_pias[h,k-1]+luas[k]
else sum_pias[h,k] := 0;
End;
grafik(llimit[h],ulimit[h],range);
End;{End of Procedure Normal}

```

```

PROCEDURE RombergLogNormal;
var
  x,x1,x2,z,range,lebar          : Real;
  deltax,delt,pita,fx            : Real;
  j,k                            : Shortint;
  i:integer;
  xp,yp:integer;
BEGIN
  gotoxy(19,8);write('calculating ');
  range:=(ulimit[h]-llimit[h])/50;
  x1:=llimit[h];
  x2:=llimit[h];
  lebar:=0;
  xp:=5;yp:=9;
  For k :=1 to 50 Do
  Begin
    gotoxy(xp,yp);
    gotoxy(wherex,wherey);write(' ');
    xp:=wherex;yp:=wherey;
    gotoxy(34,8);write(k/50*100:4:2,'%');
    x1 := x1+lebar;
    x2 := x2+range;
    i := 0;
    delt := 100;

```

```

if k=1 then lebar:=lebar+range;
Repeat
  Begin
    i      := i+1;
    Trap[i,1] := 0;
    x      := x1;
    pita    := Exp(i-1)*ln(2);
    delx    := (x2-x1)/pita;
    While x < x2 Do
      Begin
        (**Fungsi Kerapatan Peluang berdistribusi LogNormal**)
        fx := 1/(x*sdh[h]*Sqrt(2*pi)) * Exp(-0.5*Sqr((ln(x)-
          meany[h])/sdh[h]));
        -----
      -)
        If (x=x1) or (x=x2) Then Trap[i,1] := Trap[i,1]+fx
        Else Trap[i,1] := Trap[i,1]+2*fx;
        x := x +delx;
      End;
      Trap[i,1] := Trap[i,1]*delx/2;
      if i>1 then
        For j:=2 To i Do
          Begin
            z := Exp((j-1)*ln(4));
            Trap[i,j] := z*Trap[i,j-1]-Trap[i-1,j-1];
            Trap[i,j] := Trap[i,j]/(z-1);
            Delt := Trap[i,i]-Trap[i-1,i-1];
          End;
        End;
        gotoxy(15,15);write('iterasi (i) : ',i);
        gotoxy(15,16);write('epsilon      : ',abs(delt));
        Until (Abs(Delt) < 1e-6) or (i>12);
        luas[k] := Trap[i,i];
        if k>1 then Sum_pias[h,k] := Sum_pias[h,k-1]+luas[k]
        else sum_pias[h,k] := 0;
      End;
      grafik(llimit[h],ulimit[h],range);
    End; (**End of Procedure RombergLogNormal**)

PROCEDURE TDKKOR1;
VAR
  C1,CE,TEGP : REAL;
BEGIN
  TEGP := 0.6*yld;
  C1   := (1/(TEGP*(yld-TEGP)))*(SQR(TEGX)); mean[1] :=
(C1*yld)/(C1+1);
  Mean[2] := M[6]; COVc[2] := COV[6];
  Mean[3] := M[7]; COVc[3] := COV[7];
  WRITELN('teg x          : ',tegx);
  Writeln('MEAN TEGANGAN KRITIS : ',mean[1]);
  WRITE ('COV TEGANGAN KRITIS : '); READLN(COVc[1]);
  Writeln('MEAN MODULUS PENAMPANG GELADAK : ',Mean[2] :10:5);
  Writeln('COV MODULUS PENAMPANG GELADAK : ',COVc[2] : 5:5);
  Writeln('MEAN BENDING MOMEN          : ',Mean[3] :12:4);
  Writeln('COV BENDING MOMEN          : ',COVc[3] : 3:3);
END;

```

```

procedure carlo2(mean,covc:mat11);
begin
  modegrafik;
  restorecrtmode;
  textbackground(blue);lowvideo;textcolor(yellow);
  clrscr;
  bacadata1(pilih,mean,covc);
  batas(mean,covc);
  For h := 1 To jlv Do
  Begin
    clrscr;
    Writeln('Basic Variable[' ,h,']');
    Writeln(list[pilih[h]]);
    Writeln('Mean      : ',mean[h]);
    Writeln('Cov       : ',covc[h]);
    if pilih[h]=1 Then RombergNormal(mean,covc)
    Else If Pilih[h]=2 Then RombergLogNormal;
  End;
  clrscr;
  Gotoxy(11,2);Write('Berapa kali Percobaan?'); Readln(Nexpmax);
  Gotoxy(11,3);Write('Program is Running.....!!!!!!');
  Randomize;
  Nfail:=0;
  For Nexp := 1 to Nexpmax Do
  Begin {Awal Proses Transformasi dan Percobaan}
    For h := 1 To jlv Do
    Begin
      ran[h]:=random;
      For mh :=1 to 50 Do
      Begin
        If(ran[h]< Sum_pias[h,mh+1]) And (ran[h] >= Sum_pias[h,mh])
Then
          begin
            bv[h]:=llimit[h]+(mh-1)*(ulimit[h]-llimit[h])/50;
          end;
        End;
      end;

      Safety_margin :=(c1*bv[1]+ c3*bv[2])*(c2*bv[1]+ c4*bv[2])-
bv[3];
      If (Safety_margin <= 0.0) Then Nfail := Nfail+1;
      gotoxy(10,22);write('safety margin : ',safety_margin:9:6);
      gotoxy(10,23);write('nfail      : ',nfail);
      Gotoxy(10,24);Write(Round(Nexp/Nexpmax*100),'% was Performed ');
    End;{akhir Perc. (NExp=NExpmax)}
    Re :=1.0-(Nfail/Nexpmax);
    Clrscr;
    Writeln('=====');
    Writeln('Jumlah Percobaan =',Nexpmax);
    Writeln('Reliabilitas =',Re:12);
    Writeln('Tekan Enter');
    Writeln('=====');
    Readln;
  end;
end;

```



```

procedure pilihan3;
begin
  clrscr;
  Writeln('1. AFOSM');
  Writeln('2. MONTECARLO');
  Writeln;
  repeat
    write('PILIHAN    : ');
    readln(pil3);
    gotoxy(wherex,wherey-1);
  until pil3 in[1,2];
end;

{PROGRAM UTAMA}
BEGIN
  CLRSCR;
  input1;
  tegx1 := dete*detk*detphi*detphi/(1-(SQR(detpois)));
  tegx1a:= (1/(detb*detb));
  tegx1b:= (M[1]*M[2]);
  tegx1c:= (m[3]*m[4])*(m[5]*m[5]);
  tegx := tegx1*tegx1a* (SQR(tegx1b/tegx1c));
  if tegx>(0.6*yld) THEN
    BEGIN
      jlv:=3;n:=2;
      tdkkor1;(nambah baru)
      inputkorelasi(n);
      korelasi(n,mean,covc,kor);

      pilihan3;
      if pil3=2 then
        begin
          for i:=1 to jlv do
            covdd[i]:=sa[i]/yt[i];
          carlo2(yt,covdd);
        end
      else
        begin
          tdkkor2(yt);
        end;
    END;
End.

```

[illegible]

SIDE LONGITUDINALS 280 X 12 HP (SPACING 750 EXCEPT SPECIFIED)

# LONGITUDINAL STRENGTH REQUIREMENTS

H.I. Steel Factor - Top	=	1.000
- Bottom	=	1.000

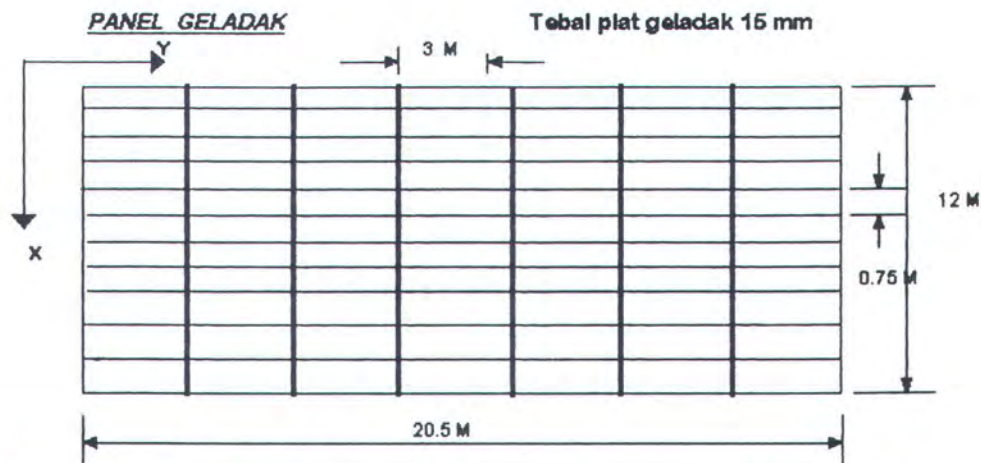
## Sagging Condition

Still Water B.M. (Sea-Going)	=	-36053	t-fm
Wave B.M. (                    )	=	-65002	t-fm
Total Bending Moment	=	-101055	t-fm

Rule Modulus	-	Deck =	8.467	m3
(at FC = 1.0)	-	Keel =	8.467	m3

\*\*\*\*\*





Pembujur Geladak(dgn lebar efektif)				dim :Cm			
NO	b	h	LUAS PENAMPANG (A)	JARAK TITIK BERAT DARI (I)	(A x I)	(A x I <sup>2</sup> )	MOMEN INERSIA INDI- VIDU (I <sub>o</sub> )
1.	61	1.5	91.5000	0.7500	68.6250	51.4688	17.1563
2.	1.2	28	45.5000	18.7000	850.8500	15910.8950	3550.0000
			137.0000		919.4750	15962.3638	3567.1563

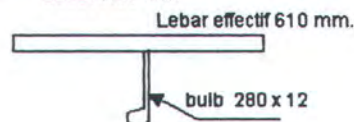
$$Z \text{ (titik berat dari dasar) } = 6.71160 \text{ Cm}$$

$$I \text{ dasar} = \Sigma (A \times I^2) + \Sigma (I_o) = 19529.5200 \text{ Cm}^4$$

$$I \text{ Neutral Axis} = I \text{ dasar} - A (z^2) = 13358.46689 \text{ Cm}^4$$

$$\text{Jumlah Pembujur Geladak} = 15 \text{ Bh}$$

$$\text{Total} = 200377.00 \text{ Cm}^4$$



Pelintang Geladak(dgn lebar efektif)				dim :Cm			
NO	b	h	LUAS PENAMPANG (A)	JARAK TITIK BERAT DARI (I)	(A x I)	(A x I <sup>2</sup> )	MOMEN INERSIA INDI- VIDU (I <sub>o</sub> )
1.	226	1.5	338.7000	0.7500	254.0250	190.5188	63.5063
2.	1.4	130	182.0000	66.5000	12103.0000	804849.5000	256316.6667
3.	20	1.4	28.0000	132.2000	3701.6000	489351.5200	4.5733
			548.7000		16058.6250	1294391.5388	256384.7463

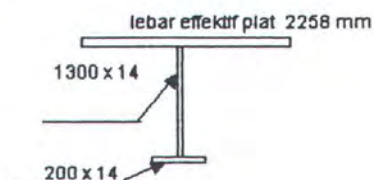
$$Z \text{ (titik berat dari dasar) } = 29.26668 \text{ Cm}$$

$$I \text{ dasar} = \Sigma (A \times I^2) + \Sigma (I_o) = 1550776.2850 \text{ Cm}^4$$

$$I \text{ Neutral Axis} = I \text{ dasar} - A (z^2) = 1080793.714 \text{ Cm}^4$$

$$\text{Jumlah Pembujur Geladak} = 6 \text{ Bh}$$

$$\text{Total} = 6484762.28 \text{ Cm}^4$$





PERHITUNGAN MODULUS PENAMPANG DAN MOMEN INERSIA.

dim : Cm									
No	NAMA BAGIAN	Jml	LUNG PE- NAMPANG (A)	LUNG PE- nadi PANG (A) Total	JARAK TITIK BERAT DARI dasar (I)	(A x I)	(A x I <sup>2</sup> )	MOMEN INERSIA INDI- VIDU (I <sub>o</sub> )	MOMEN INERSIA INDI- VIDU (I <sub>o</sub> ) Total
I.	Pembujur Geladak								
1.	No.1, 280 x 12	16	137.0000	2192.0000	1193.290	2615691.6800	3121278724.827	13358.46689	213735.4703
2.	No.2, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1190.450	326183.3000	388304909.485	13358.46689	26716.93379
3.	No.3, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1185.130	324725.6200	384842074.031	13358.46689	26716.93379
4.	No.4, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1179.820	323270.6800	381401213.678	13358.46689	26716.93379
5.	No.5, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1174.500	321813.0000	377969368.500	13358.46689	26716.93379
6.	No.6, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1169.180	320355.3200	374553033.038	13358.46689	26716.93379
7.	No.7, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1163.860	318897.6400	371152207.290	13358.46689	26716.93379
8.	No.8, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1158.540	317439.9600	367768891.258	13358.46689	26716.93379
9.	No.9, 280 x 12	2	137.0000	274.0000	1148.540	314699.9600	361445492.058	13358.46689	26716.93379
II.	Pembujur Sisi								
1.	No.1, 220 x 10	2	102.2000	204.4000	1075	219730.0000	236208750.000	22705.304	45410.608
2.	No.2, 220 x 10	2	102.2000	204.4000	1000	204400.0000	204400000.000	22705.304	45410.608
3.	No.3, 220 x 10	2	102.2000	204.4000	925	189070.0000	174899750.000	22705.304	45410.608
4.	No.4, 220 x 10	2	102.2000	204.4000	850	173740.0000	147679000.000	22705.304	45410.608
5.	No.5, 220 x 10	2	102.2000	204.4000	775	158410.0000	122767750.000	22705.304	45410.608
6.	No.6, 340 x 12, side str	2	114.0000	228.0000	700	159600.0000	111720000.000	22702.996	45405.992
7.	No.7, 260 x 12	2	114.5000	229.0000	625	143125.0000	89453125.000	22706.614	45413.228
8.	No.8, 260 x 12	2	114.5000	229.0000	550	125950.0000	69272500.000	22706.614	45413.228
9.	No.9, 260 x 12	2	114.5000	229.0000	475	108775.0000	51868125.000	22706.614	45413.228
10.	No.10, 260 x 12	2	114.5000	229.0000	400	91600.0000	36640000.000	22706.614	45413.228
11.	No.11, 340 x 12, side str	2	114.0000	228.0000	325	74100.0000	24082500.000	22702.996	45405.992
12.	No.12, 280 x 12	2	118.7000	237.4000	250	59350.0000	14837500.000	22707.303	45414.606
13.	No.13, 300 x 11	2	126.0000	252.0000	180	45360.0000	8164800.000	24599.469	49198.939
III.	Pembujur Sisi Tangki dalam.								
1.	No.1, 220 x 10	2	114.5000	229.0000	1075	246175.0000	264638125.000	22706.614	45413.228
2.	No.2, 220 x 10	2	114.5000	229.0000	1000	229000.0000	229000000.000	22706.614	45413.228
3.	No.3, 220 x 10	2	114.5000	229.0000	925	211825.0000	195938125.000	22706.614	45413.228
4.	No.4, 220 x 10	2	114.5000	229.0000	850	194650.0000	165452500.000	22706.614	45413.228
5.	No.5, 220 x 10	2	114.5000	229.0000	775	177475.0000	137543125.000	22706.614	45413.228
6.	No.6, 340 x 12, side str	2	102.2000	204.4000	700	143080.0000	100156000.000	22705.304	45410.608
7.	No.7, 260 x 12	2	118.7000	237.4000	625	148375.0000	92734375.000	22707.303	45414.606
8.	No.8, 260 x 12	2	118.7000	237.4000	550	130570.0000	71813500.000	22707.303	45414.606
9.	No.9, 260 x 12	2	118.7000	237.4000	475	112765.0000	53563375.000	22707.303	45414.606
10.	No.10, 260 x 12	2	118.7000	237.4000	400	94960.0000	37984000.000	22707.303	45414.606
11.	No.11, 300 x 11,	2	126.0000	252.0000	250	63000.0000	15750000.000	4723.573	9447.146
12.	No.12, 300 x 11	2	126.0000	252.0000	210	52920.0000	11113200.000	4723.573	9447.146



IV.	Pembujur Sisi Sekel Memanjang								
0	No 0, 220 x 10	1	30 5000	30 5000	1150	35075 0000	40336250 000	133127 978	133127 978
1	No 1, 220 x 10	1	118 7000	118 7000	1075	127602 5000	137172687 500	22707 303	22707 303
2	No 2, 220 x 10	1	118 7000	118 7000	1000	118700 0000	118700000 000	22707 303	22707 303
3	No 3, 220 x 10	1	118 7000	118 7000	925	109797 5000	101562687 500	22707 303	22707 303
4	No 4, 220 x 10	1	118 7000	118 7000	850	100895 0000	85760750 000	22707 303	22707 303
5	No 5, 220 x 10	1	118 7000	118 7000	775	91992 5000	71294187 500	22707 303	22707 303
6	No 6, 260 x 12	1	126 0000	126 0000	700	88200 0000	81740000 000	24599 46933	24599 46933
7	No 7, 260 x 12	1	126 0000	126 0000	625	78750 0000	49218750 000	24599 46933	24599 46933
8	No 8, 260 x 12	1	126 0000	126 0000	550	69300 0000	38115000 000	24599 46933	24599 46933
9	No 9, 260 x 12	1	126 0000	126 0000	475	59850 0000	28428750 000	24599 46933	24599 46933
10	No 10, 260 x 12	1	126 0000	126 0000	400	50400 0000	20160000 000	24599 46933	24599 46933
11	No 11, 280 x 12	1	126 0000	126 0000	325	40950 0000	13308750 000	1827306 957	1827306 957
12	No 12, 280 x 12	1	126 0000	126 0000	250	31500 0000	7875000 000	1827306 957	1827306 957
13	Pelat bag. Tengah	1	118 8000	118 8000	1153.6	137047 6800	158098203 648	3200 398295	3200 398295
V.	Pelat Ales Samping					0 0000			
1	No 1, 300 x 11	22	119 9000	2637 8000	173.56	457816 5690	79458643 542	10613 705	233501 505
2	No 2, Pen.Samping	6	369 9300	2219 5800	91.57	203246 9406	18611322 351	1827306 957	10963841 741
VI.	Pelat Ales					0 0000			
1	No 1, 300 x 11, 15,5	4	141 2500	565 0000	11.33	6403 9800	72585 770	11988 018	47952 071
2	No 2, 300 x 11, 13,5 mm	24	129 0500	3097 2000	10.68	33070 6800	353115 677	11524 63925	276591 342
3	No 3 Bag. Tengah	1	133 5500	133 5500	5.38	718 4990	3865 525	9814 946075	9814 946
VII.	Penguat Penumpu Tengah								
1	No 1, 220 x 10	1	108 3000	108 3000	60.00	6498 0000	389880 000	24596 812	24596 812
2	No 2, 220 x 10	1	108 3000	108 3000	120.00	12996 0000	1559520 000	24596 812	24596 812
VIII.	Pelat Bkja								
1	Radius = 1500 mm	1	17864 10566	17864 10566	53.60	957516 0635	51322861 004	1909594 73	1909594 730
IX.	Sheer Strake								
1	Sheer Strake	2	154 5000	309 0000	1157.50	357667 5000	414000131 250	26342 84375	52685 688
			38738 0357			11917076 5711	10293727980 4317	8537662 2894	19065283 6848

-15

$$\begin{aligned}
 I_{NA} \text{ (Dari dasar)} &= \Sigma A I^2 / \Sigma A &= & 307.63244 \text{ Cm} \\
 A & &= & 38738.0357 \text{ Cm}^2 \\
 I \text{ dasar} &= S (A \times I^2) + S (I_o) &= & 10312793264.1165 \text{ Cm}^4 \\
 I \text{ Neutral Axis} &= I \text{ dasar} - A (I_{NA}^2) &= & 6646713878 \text{ Cm}^4 \\
 W \text{ (dasar)} &= &= & 21306023.73 \text{ Cm}^3 \\
 H \text{ (Tinggi Kapal)} &= &= & 1150 \text{ Cm} \\
 I_{NA,d} \text{ (Dari Gidk)} &= &= & 842.36756 \text{ Cm} \\
 W \text{ (Gidk)} &= &= & 7890515.046 \text{ Cm}^3
 \end{aligned}$$